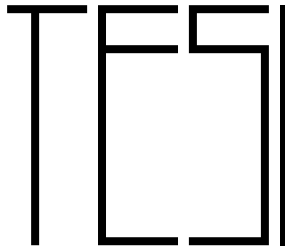


POLITECNICO DI MILANO
Architettura e Società

L.S. Progettazione
dell'architettura
s o s t e n i b i l e
a.a. 2010 / 2011



RIFIUTI DA MANUALE

Tecnologie facilitate per il
riuso dei rifiuti in edilizia

di Davide Lo Bartolo
matricola 721290

Relatore: Prof. Arch.
Alessandro Rogora

Stampato a Bollate (MI) presso "Il Melograno", Società Cooperativa Sociale.

Ai miei genitori

Indice generale

0. Introduzione.....	21
1. Ambiente.....	23
1.1 Teoria.....	23
1.1.1 Imparando da Rapa Nui.....	23
1.1.2 Le dura legge dell'entropia.....	26
1.1.3 Solare? Sì, grazie.....	28
1.2 Storia del pensiero ecologico.....	31
1.2.1 Da Malthus a Brundtland.....	31
1.2.2 Convenzione sul Clima.....	37
1.2.3 Sviluppo (in)sostenibile.....	40
1.3 Ieri.....	45
1.3.1 Il nostro pianeta.....	45
1.3.2 La temperatura sale.....	46
1.3.2.1 AR4, aggiornamento.....	58
1.3.2.2 Italia.....	59
1.3.3 Protocollo Kyoto.....	60
1.4 Oggi.....	63
1.4.1 Consumi globali.....	63
1.4.2 UNFCCC.....	65
1.4.3 Unione Europea.....	69
1.5 Domani.....	76
1.5.1 Quello che ci aspetta.....	76
1.5.2 20-20-20.....	79
1.5.2.1 Previsioni.....	81
1.5.3 Post-Kyoto.....	83
1.6 Italia.....	87
1.6.1 Il bel paese.....	87

1.6.2	Energia.....	87
1.6.2.1	Rinnovabili.....	92
1.6.3	Kyoto-Italia.....	94
1.6.4	Futuro.....	97
1.7	Rapa Nui: il ritorno.....	100
2.	Rifiuti.....	102
2.1	Leonia.....	102
2.1.1	Il concetto di rifiuto.....	105
2.2	Gestione dei rifiuti.....	109
2.2.1	La regola delle 3R.....	109
2.2.1.1	Riduco.....	109
2.2.1.2	Riuso.....	110
2.2.1.3	Riciclo.....	111
2.2.2	Smaltimento.....	111
2.2.3	Inceneritore (o termovalorizzatore?).....	112
2.3	Rifiuti e clima	115
2.4	Assetto normativo.....	117
2.5	Dati.....	123
2.5.1	Europa.....	123
2.5.2	Italia.....	127
2.5.2.1	Produzione.....	127
2.5.2.2	Recupero e gestione.....	130
3.	Architettura.....	138
3.1	Introduzione.....	138
3.1.1	Perché costruire.....	142
3.2	Costruire rifiutando.....	144
3.2.1	Dalla cultura materiale alla cultura industriale.....	144
3.2.2	Occhi che non vedono.....	145
3.2.3	Architettura spontanea moderna.....	147

3.2.4	Tecnologia.....	148
3.2.4.1	Firmitas.....	149
3.2.4.2	Utilitas.....	149
3.2.4.3	Venustas.....	150
3.2.5	Politica.....	150
3.2.6	Non sar� facile.....	151
3.3	Architettura senza architetti.....	153
3.3.1	Autocostruzione associata assistita.....	155
3.3.1.1	Costa meno.....	157
3.3.1.2	Socialit�.....	157
3.3.1.3	Autocostruire la sostenibilit�.....	158
3.4	Il ruolo dell'architetto.....	159
3.4.1	Progettare per la gente.....	160
3.4.2	Progettare con i rifiuti.....	161
3.4.3	Sicurezza.....	162
3.5	Esperienze.....	164
3.5.1	Metodo Segal.....	164
3.5.2	E.V.A.....	166
3.5.3	Garbage Warrior.....	167
3.5.4	Garbage Housing.....	168
3.5.5	Rural Studio.....	169
3.5.6	Hassan Fathy.....	170
3.5.7	Quinta Monroy.....	172
3.5.8	Seiv de farm.....	173
3.5.9	Infopoint.....	174
3.6	Riassumendo.....	176
4.	Manuale.....	178
4.1	Premessa.....	183
4.1.1	Kandinskij insegna.....	183

4.1.2	Progetto VS prodotto.....	184
4.1.3	Best reuse practices.....	185
4.1.4	Chi cerca trova.....	187
4.2	Struttura portante.....	188
4.2.1	Struttura di fondazione.....	190
4.2.1.1	Fondazioni dirette discontinue.....	193
4.2.1.2	Fondazioni dirette continue.....	195
4.2.2	Struttura di elevazione.....	197
4.2.2.1	Strutture portanti in elevazione a telaio.....	198
	Strutture a telaio in legno.....	202
	Legno come materiale da costruzione.....	205
	Caratteristiche istologiche.....	205
	Caratteristiche strutturali.....	206
	Resistenza al fuoco.....	211
	Resistenza al sisma.....	212
	Pannelli di legno.....	214
	Elementi strutturali in legno.....	216
	Sezioni circolari.....	216
	Sezioni quadrate e profilate.....	217
	Elementi strutturali composti.....	218
	Diaframmi.....	225
	Unioni meccaniche.....	228
	Metodi costruttivi in legno.....	232
	Sistemi costruttivi di tipo massiccio.....	232
	Sistemi costruttivi di tipo leggero.....	233
	Sistema Lorenzo.....	236
	Metodo Segal.....	237
	Bambù.....	241
4.2.2.2	Strutture in elevazione a parete portante.....	247

Balloon frame.....	248
Platform frame.....	249
Papercrete.....	255
Tubi di cartone.....	260
Copertoni.....	264
4.2.2.3 Strutture portanti spaziali.....	266
Strutture a superficie curva.....	267
Strutture spaziali reticolari	268
Tensostrutture.....	274
4.3 Chiusura.....	276
4.3.1 Chiusure verticali.....	278
4.3.1.1 Pareti perimetrali non portanti.....	278
Papercrete.....	278
Lattine di metallo.....	279
Bottiglie di vetro.....	280
Bottiglie di plastica.....	286
Tetra Pak.....	291
Scatole di cartone.....	293
Bancali in legno.....	297
Vasetti di yogurt.....	302
Cassette della frutta.....	302
4.3.1.2 Infissi esterni verticali.....	303
4.3.2 Chiusure inferiori.....	305
Vasetti di yogurt.....	306
Bottiglie di vetro.....	308
4.3.3 Chiusure superiori.....	309
Lattine di metallo.....	310
Papercrete.....	311
Tetra Pak.....	311

4.4	Partizioni interne.....	313
4.4.1	Partizione interna verticale.....	313
4.4.2	Partizione interna orizzontale.....	314
	Vasetti di yogurt.....	314
	Bancali in legno.....	314
	Tubi di cartone.....	315
5.	Do it yourself.....	316
5.1	Considerazioni.....	316
5.2	Prototipo.....	317
5.2.1	Brief di progetto.....	317
5.2.2	Materiali di rifiuto.....	318
5.2.2.1	Ricerca e selezione.....	319
5.2.3	Segue.....	320
6.	Fine.....	322
6.1	Considerazioni e conclusioni.....	322

Indice delle figure

Illustrazione 1: fotografia dell'Isola di Pasqua.....	24
Illustrazione 2: in questa immagine, dal titolo «Cascata», Maurits Cornelis Escher rappresenta un sistema chiuso in movimento perpetuo che viola la legge di conservazione dell'energia.	29
Illustrazione 3: dimensioni dello sviluppo sostenibile.....	35
Illustrazione 4: il pianeta Terra dallo spazio.....	44
Illustrazione 5: superficie ghiacciata della Groenlandia che ha raggiunto il punto di fusione almeno un giorno in estate. (Fonte: Climate Change Conference, Copenaghen, 2009).....	48
Illustrazione 6: proiezioni delle variazioni di temperatura superficiale per l'inizio e la fine del XXI secolo rispetto al periodo 1980-1999, di più scenari possibili (B1, A1B, A2).....	52
Illustrazione 7: la sirena di Copenaghen.....	83
Illustrazione 8: abitazione a Hanga Roa, realizzata con lamiera recuperata.....	100
Illustrazione 9: ipotetica economia a perdita totale. Massima quantità di rifiuti prodotti.....	106
Illustrazione 10: ridotta capacità di riciclo.....	106
Illustrazione 11: crescente capacità di riciclo più una piccola parte di riuso.....	107
Illustrazione 12: piena capacità di riciclo più massimo riuso dei prodotti.....	107
Illustrazione 13: bidonville a Nuova Delhi.....	147
Illustrazione 14: Walter Segal (sinistra) e un autocostruttore. Sullo sfondo un'abitazione autocostruita.	164
Illustrazione 15: vista interna di una casa del progetto E.V.A.....	165
Illustrazione 16: un'abitazione earthship nel Nuovo Messico.....	166
Illustrazione 17: Rural Studio, Harris House (Butterfly).....	168
Illustrazione 18: villaggio Nuova Gourna.....	170
Illustrazione 19: vista frontale dell'intervento prima e dopo l'occupazione da parte degli abitanti.....	171
Illustrazione 20: autocostruzione di una parete in bancali di legno.....	172
Illustrazione 21: infopoint.....	173
Illustrazione 22: ponte reciproco di Leonardo Da Vinci, prospetto.....	186
Illustrazione 23: nodo montante in bambù-plinto in c.a., cantiere Emissionizero, Vergiate (VA).....	193
Illustrazione 24: Shigeru Ban, Paper Log House, (Nagata, Hyogo, 1995). Dettaglio delle fondazioni.....	194
Illustrazione 25: appoggio continuo al di sopra di copertoni recuperati.....	195
Illustrazione 26: struttura pendolare con controventi diagonali.....	197
Illustrazione 27: tipologie comuni di travature reticolari.....	200
Illustrazione 28: bilancio di CO2 nella produzione di una trave.....	202
Illustrazione 29: Alvar Aalto, Villa Mairea, anno 1938-1939.....	216
Illustrazione 30: travi sovrapposte collegate mediante guance continue di tavole inclinate a 45°.....	219
Illustrazione 31: travi composte: a),e) a "I"; b) a cassetta; c) a omega; d) a doppio "T".....	220

Illustrazione 32: colonna	221
Illustrazione 33: travatura reticolare.....	222
Illustrazione 34: voltine prismatiche in assi di legno inchiodate.....	223
Illustrazione 35: elementi a arco ottenuti mediante "pacchi" di tavole poste di coltello affiancate.	224
Illustrazione 36: chiodo a gambo liscio (in alto) e a aderenza migliorata.....	230
Illustrazione 37: connessione chiodata con scarpa metallica.....	231
Illustrazione 38:	236
Illustrazione 39: pianta delle fondazioni e dei moduli (in alto), e pianta strutturale del piano terra di un edificio per Lewisham.....	238
Illustrazione 40: Tipologia nodo 1.....	245
Illustrazione 41: tipologia nodo 3.....	245
Illustrazione 42: tipologia nodo 4.....	245
Illustrazione 43: sistema costruttivo Platform frame.....	250
Illustrazione 44: parete portante.....	252
Illustrazione 45: realizzazione di un'apertura in una parete di blocchi in papercrete.....	257
Illustrazione 46: blocchi in papercrete, giuntabili a incastro ⁶⁴ . Dimensioni 80 cm x 40 cm x 30 cm.	258
Illustrazione 47: esploso assonometrico, Paper Log House.....	263
Illustrazione 48: copertoni e terra.....	264
Illustrazione 49: Rural Studio, Cappella di Yancey, Sawyerville, Hale County, Alabama.....	265
Illustrazione 50: residenza realizzata a partire da una struttura spaziale geometrica.....	266
Illustrazione 51: francobollo di Buckminster Fuller.....	268
Illustrazione 52: insediamento Drop City, Texas, U.S.A.....	270
Illustrazione 53: nodo imbullonato, realizzato pressando canaline tubolari in pvc \varnothing 31 mm.	271
Illustrazione 54: struttura reciproca con 90 pali di legno, costruita da Rinus Roelofs (Olanda, 2001).....	274
Illustrazione 55: amaca.....	274
Illustrazione 56: autocostruttore che realizza una parete in lattine di metallo recuperate.....	279
Illustrazione 57: blocco costruttivo di lattine di metallo recuperate.....	279
Illustrazione 58: bottiglia di birra Heineken Wo.Bo. (35 cl).....	282
Illustrazione 59: dettaglio connessione angolo.....	283
Illustrazione 60: autocostruzione di una parete di bottiglie in Cascina Torchiera.....	285
Illustrazione 61: fotografia della nave Plastiki nella baia di San Francisco.....	286
Illustrazione 62: vista laterale.....	288
Illustrazione 63: parete di bottiglie, prototipo Wo.Bo. 2.0, fase di montaggio.....	288
Illustrazione 64: installazione di Shigeru Ban, Shanghai Art Museum (2002).....	290
Illustrazione 65: prototipo parete in Tetra Pak presentato alla Biennale di Venezia (2008) da Albori.....	292
Illustrazione 66: Li Xinggang, Paper-box House.....	294

Illustrazione 67: fasi di assemblaggio delle scatole.....	295
Illustrazione 68: assemblaggio modulo.....	296
Illustrazione 69: dimensioni di un Pallet EUR (Fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/Pallet).....	299
Illustrazione 70: Gregor Pils & Andreas Claus Schnetzer, Pallet House, Venezia, 2008.....	300
Illustrazione 71: assonometria di un possibile assemblaggio (in alto). Pianta e prospetto di una fila di pallet ribaltati e accostati.....	301
Illustrazione 72: immagine del prototipo sviluppato.....	302
Illustrazione 73: immagine evocativa.....	304
Illustrazione 74: Rural Studio, Glass Chapel, Mason's Bend, AL, U.S.A. (2000). La facciata nord è realizzata con finestrini recuperati.....	305
Illustrazione 75: pannello per vespaio aerato con vasetti di plastica e supporto in Tetra Pak, derivante dalla combinazione di due pannelli, superiore e inferiore.....	307
Illustrazione 76: elemento orizzontale di chiusura, formato da bottiglie di vetro e cemento.....	308
Illustrazione 77: rivestimento in lattine pressate.....	310
Illustrazione 78: volta a botte di lattine e cartone.....	311

Indice delle tabelle

Tabella 1: caratteristiche degli scenari di stabilizzazione.	57
Tabella 2: obiettivi di emissione quantificati per il 2020.....	85
Tabella 3: caratteristiche dei terreni.....	190
Tabella 4: confronto dei diversi momenti di inerzia a parità di area della sezione.	199
Tabella 5: analogie e differenze fra acciaio e legno come materiali strutturali.	203
Tabella 6: peso per unità di volume (fonte: D.M. 14 Gennaio 2008).....	208
Tabella 7: valori approssimati di altezza per sistemi strutturali in legno, rappresentati con le luci tipiche (in rosso) e il campo di variabilità possibile (in grigio). (Fonte: Schodek D. L., Strutture, traduzione a cura di Coronelli D., Martinelli L., Pàtron editore, Bologna, 2004).....	227
Tabella 8: nodi a ossatura portante in legno.....	235
Tabella 9: confronto fra diverse proprietà dei materiali.	242
Tabella 10: valori caratteristici e tensioni ammissibili per le principali caratteristiche di <i>Gaude angustifolia</i> . (Fonte: Cardenas Laverde M., Il Bambù come materiale da costruzione, Sistemi editoriali, Napoli, 2008).	243
Tabella 11: divisione geodetica dell'icosaedro.....	272

Indice dei grafici

Grafico 1: concentrazioni di CO2 in atmosfera.....	46
Grafico 2: modelli climatici valutati per l'emissione globale di GHG e il riscaldamento superficiale.....	50
Grafico 3: emissioni di CO2 dal 2000 al 2100 per 3 differenti probabilità di raggiungere i +2°C.....	55
Grafico 4: anomalie della temperatura media in Italia. (Fonte: ISPRA).....	58
Grafico 5: andamento del prezzo del petrolio (WTI) dal 1985 al 2010 (USD al barile). (Fonte: IEA).....	62
Grafico 6: domanda mondiale di energia primaria per fonte. (Fonte: IEA, WEO 2009).....	63
Grafico 7: top 10 delle nazioni produttrici di GHG nel 2008. (Fonte: IEA, 2010).....	65
Grafico 8: andamento emissioni fra le Parti UNFCCC. (Fonte: IEA, 2010).....	66
Grafico 9: variazioni nelle emissioni totali aggregate, delle singole Parti dell'Allegato I, 1990-2007.	67
Grafico 10: consumo di energia primaria per fonte UE(27). (Fonte: EEA).....	68
Grafico 11: contributo delle fonti di energia rinnovabile al consumo di energia primaria. (Fonte: EEA).....	69
Grafico 12: emissioni di CO2-equivalente per settore, UE(27), 2008. (Fonte: UNFCCC).....	71
Grafico 13: confronto fra obiettivo di riduzione e emissione(2008) fra gli Stati Membri UE(15).	72
Grafico 14: andamento emissioni di gas serra, UE(15). (Fonte: UNFCCC).....	73
Grafico 15: emissioni di anidride carbonica (CO2). (Fonte: IEA, WEO 2009).....	76
Grafico 16: riduzione delle emissioni globali di CO2 relazionate alla produzione di energia.....	77
Grafico 17: percentuale dei consumi di energia da fonti rinnovabili rispetto ai consumi finali in Europa. (Fonte: EEA 2007).....	79
Grafico 18: andamento e proiezioni emissioni GHG, UE(15). (Fonte: EEA 2010).....	80
Grafico 19: domanda di energia per fonte, 2008.	87
Grafico 20: produzione di energia per fonte (percentuali), 1997-2009. (Fonte: AEEG 2010).....	88
Grafico 21: consumi finali di energia per settore economico. (Fonte: Ministero Sviluppo Economico)	90
Grafico 22: produzione lorda di energia elettrica da fonti rinnovabili. (Fonte: AEEG 2010)	92
Grafico 23: emissioni di CO2-equivalente per settore, 2008. (Fonte: ISPRA 2010).....	95
Grafico 24: emissioni di gas serra rispetto al 1990 (percentuali). (Fonte: ISPRA).....	96
Grafico 25: contributo delle opzioni di efficienza energetica nell'abbattimento delle emissioni di CO2.	98
Grafico 26: produzione di rifiuti urbani in UE(15), 2007. (Fonte: EUROSTAT).....	122
Grafico 27: produzione rifiuti urbani UE(27). (Fonte: EUROSTAT).....	123
Grafico 28: produzione dei rifiuti di imballaggio nei Paesi UE(27), 2007. (Fonte: EUROSTAT).....	124
Grafico 29: produzione e smaltimento in discarica pro capite di rifiuti urbani nell'UE(27), 2007.	125
Grafico 30: produzione nazionale di rifiuti. (Fonte: ISPRA).....	126
Grafico 31: produzione di rifiuti urbani. (Fonte: ISPRA 2009).....	127
Grafico 32: produzione di rifiuti urbani pro capite (media nazionale). (Fonte: ISPRA).....	128
Grafico 33: ripartizione percentuale della gestione dei rifiuti urbani, 2008. (Fonte: ISPRA).....	129

Grafico 34: raccolta differenziata dei rifiuti urbani. (Fonte: ISPRA 2009).....	131
Grafico 35: raccolta differenziata nella provincia di Milano, 2008. (Fonte: ISPRA).....	133
Grafico 36: produzione dei rifiuti da imballaggio, 2008. (Fonte: ISPRA).....	135
Grafico 37: rifiuti da imballaggio riciclati. (Fonte: CONAI).....	136

Abstract

Questo lavoro di tesi vuole dimostrare come dei rifiuti possano essere efficacemente utilizzati in edilizia, attraverso tecnologie facilitate, e come questo insolito approccio possa rispondere a problematiche a scala locale e globale. Dopo un veloce excursus nella storia recente del pensiero ambientale occidentale, e delle assunzioni teoriche che ne costituiscono il background culturale di riferimento, si è passati all'approfondimento del concetto di rifiuto e della possibilità di trasformarlo in una risorsa riutilizzabile. Il mondo delle costruzioni potrebbe diventare un ambito di sperimentazione del riuso, soprattutto nei cantieri in autocostruzione. A questo scopo, la parte centrale della trattazione è costituita da un manuale, in cui vengono collezionate e elaborate sistematicamente tutte le esperienze avvenute nel campo dell'uso dei rifiuti in architettura. Questo vuole promuovere un metodo inusuale con cui affrontare la progettazione tecnologica, in cui il punto di partenza sia la cernita dei materiali di scarto di facile reperimento e disponibili a chilometro zero, e il loro utilizzo nel modo più efficiente possibile all'interno di un processo di autocostruzione. Insomma, un piccolo manuale sulle best reuse practices in edilizia, che si rivolge a un target a metà strada fra l'architetto e l'autocostruttore. La trattazione si conclude con una proposta progettuale per un piccolo modulo abitativo di emergenza, autocostruito con materiale di rifiuto, applicazione diretta del manuale presentato precedentemente. Nelle conclusioni vengono esplicitati quali obiettivi sono stati raggiunti (e in che modo) con questo lavoro, e quali potranno essere gli eventuali sviluppi futuri.

Come ogni attività umana, la realizzazione di questo lavoro di tesi ha avuto un impatto sull'ambiente. Per la redazione e la stampa della stessa, è stata spesa energia e consumata materia di vario genere, con la conseguente immissione in atmosfera di biossido di carbonio, principale forzante dell'effetto serra globale. Si è cercato di ridurre l'impatto attraverso l'utilizzo di un piccolo formato di stampa e di un carattere tipografico di dimensioni adeguate. La stampa è stata effettuata fronte-retro su carta riciclata. Ma tutto ciò non basta. Per compensare l'emissione di CO₂, attraverso il circuito Impatto Zero® LIFEGATE, sono stati tutelati 1187 m² di foresta in Costa Rica, in grado di assorbire circa 920 Kg/anno di anidride carbonica. In sintonia con quanto previsto dalla legge 113/1992, se per ogni tesi discussa, o almeno per quelle che riguardano temi ambientali, venisse piantato un albero, questo sarebbe un gesto simbolo di civiltà verso l'ambiente e verso tutta l'umanità.

0. Introduzione

«Sogni? Forse. Ma senza sogni non si cambia niente.»

- Federico M. Butera -

È ormai pacifico che la società attuale, derivata dal progresso scientifico e dalla disponibilità di elevate quantità di energia, avvenuti, non per caso, entrambi negli scorsi due secoli, stia causando grandi scompensi ambientali. Proprio quella parte di mondo, "l'occidente", che direttamente, consumando e inquinando, e indirettamente, proponendo un stile di vita insostenibile, sta causando il collasso dell'intero sistema ecologico globale, è la stessa che invoca a gran voce la necessità di una soluzione in tempi brevi. Questo punto di vista è ormai largamente condiviso, e ci si aspetterebbe che alle parole subentrassero i fatti. Ma proprio qui sorge una contraddizione. Tutti vorrebbero risolvere il problema, ma nessuno (per fortuna non proprio nessuno) è disposto a provarci davvero, in quanto è chiaro come sia necessario un cambiamento radicale di tutto il "sistema", e non di singole parti di esso. Sarebbe stupido professare un ritorno alla vita primitiva nelle caverne e l'abbandono completo delle comodità conquistate (anche se molte sono superflue e oltretutto degeneranti). Ciò non toglie che alcune delle nostre abitudini dovranno essere sacrificate per lasciare spazio a nuovi modi di vedere e vivere l'ambiente circostante. Siamo nel mondo nella maniera in cui abitiamo, come direbbe Heidegger: Abitare dunque, significa vivere, ma oltre a avere questo valore antropologico, comporta il più grande impatto sull'ecosistema terrestre fra tutte le attività umane. È chiaro quindi come uno dei cambiamenti che ci aspettano in futuro, riguarderà la sfera delle costruzioni.

Come? È difficile dirlo. Essendo questa una tesi della Facoltà di Architettura dovrebbe dare delle risposte in merito. Nel corso della prossime pagine cercherò di assolvere, almeno in parte, questo compito. Cominciamo a focalizzare alcune domande.

È possibile sperimentare un nuovo modo di costruire? È fattibile riportare la “nascita” della propria casa a un momento quasi sacro, in cui energia e materia si uniscono per formare un luogo speciale, dove soddisfare quel bisogno primario dell'uomo, quale è «abitare»? Sarebbe possibile caricare quest'opera di importanti valori ambientali, e di rispetto verso il mondo che circonda? È plausibile che questa diventi il simbolo di un diverso approccio alla costruzione, in grado di scardinare i soliti meccanismi della produzione edilizia? Potrebbe diventare un'occasione per attuare il riuso di materiali di scarto, e quindi la realizzazione di processi sostenibili, fin dalla posa della prima “pietra”? Il riutilizzo in ambito edilizio di ciò che viene generalmente considerato un rifiuto, all'interno di un processo di costruzione fai-da-te da parte degli utenti, potrebbe essere una delle risposte possibili.

I. Ambiente

« La Terra possiede risorse sufficienti per provvedere ai bisogni di tutti,
ma non all'avidità di alcuni. »

- Mahatma Gandhi -

Un approccio ai problemi dell'ambiente e dell'architettura che voglia essere corretto si deve confrontare sia con la realtà a livello locale, sia con alcuni concetti a livello globale: «think global, act local». È necessario quindi, prima di affrontare nel particolare i temi propri delle costruzioni e dei rifiuti, fare riferimento alla natura dei sistemi ecologici e allo stato dell'ambiente a oggi.

I.1 Teoria

I.1.1 Imparando da Rapa Nui

Il caso dell'Isola di Pasqua (Rapa Nui nella lingua locale, chiamata così in quanto fu scoperta dagli europei nel giorno di Pasqua), è emblematico per quanto riguarda il rapporto uomo-ambiente, e presenta molti aspetti in comune con il sistema socio-economico attuale. La storia di quest'isola nel sud dell'oceano Pacifico è circondata da un alone di mistero riguardante i suoi resti archeologici, che ne hanno fatto la sua fortuna nell'immaginario turistico mondiale, come per le piramidi egizie o i templi Maya. Rapa Nui si trova a circa 3.500 km dalla costa del Cile e è distante più di 2.000 km dall'isola più vicina. L'isola di Pasqua ha una forma pseudotriangolare e si estende per circa 166 km². È di origine vulcanica e si è formata circa 2,5 milioni di anni fa, emergendo da fondali oceanici profondi 2.000 m. La parte interna dell'isola è formata da un altopiano da cui si eleva un picco di quasi 1.000 m sul mare. Attualmente l'isola ospita una popolazione di poco meno inferiore a 1.000 persone. Il mistero legato

all'isola nacque nel 1722, quando l'ammiraglio olandese Roveggen la “scoprì”. Egli trovò una popolazione allo stato primitivo, con meno di 3.000 abitanti, che vivevano in caverne o squallide abitazioni di giunchi, perennemente in guerra tra loro e spesso ridotte al cannibalismo, nel disperato tentativo di integrare le scarse risorse alimentari presenti. L'isola appariva completamente brulla e priva di alberi, eppure vi erano tracce di una passata civiltà, testimoniata dalla presenza di enormi statue di pietra aventi sembianze umane. A volte queste statue, trovate rotte o rovesciate, poterono far presupporre che vi fosse stata sull'isola una guerra civile, dovuta alla sovrappopolazione, che avesse portato alla decimazione degli abitanti durante il XV e il XVI secolo. In realtà, la spiegazione è relativamente semplice e si basa principalmente sull'inevitabile dipendenza dell'uomo dall'ambiente che lo circonda.

L'isola, fu colonizzata probabilmente già nel V° secolo da coloni polinesiani. Da quel momento essi rimasero isolati fino all'arrivo degli europei. L'isola, a quel tempo, era coperta da un alto manto erboso e da una foresta tropicale di palme. La popolazione si alimentava grazie a una dieta prevalente a base di patate dolci e pollame, importate dai primi coloni. Gli abitanti non dovevano faticare molto per la sussistenza e grazie al tempo disponibile essi si poterono dedicare all'arte. La disponibilità di manodopera dovuta all'aumento demografico in atto, diede la possibilità di intraprendere la costruzione di enormi complessi megalitici in pietra dedicati al culto degli antenati. La costruzione di nuove capanne e la necessità di legname ricavato dagli alberi di palma per trasportare queste enormi sculture in pietra, portò sempre più velocemente alla completa deforestazione dell'isola. Questo causò un aumento dell'erosione del suolo e una conseguente diminuzione della superficie agricola. Si



Illustrazione 1: fotografia dell'Isola di Pasqua.

ebbero inoltre grandi difficoltà nella pesca in quanto le reti erano ricavate dal gelso della carta e le canoe dal legno di palma. Le abitazioni non poterono più essere riparate e così la popolazione tornò a abitare le caverne. Si instaurò una completa dipendenza alimentare dai polli che divennero l'unica risorsa commestibile. Cominciarono così i conflitti per il loro possesso, testimoniato dall'avvento di pollai in pietra. In poche generazioni la scarsità delle risorse portò a una guerra perenne fra i clan che, insieme alle cause ambientali, portò alla decimazione della popolazione, fra cui si diffuse, come già detto, il cannibalismo, unico modo per sopravvivere.

La scomparsa degli alberi dall'isola portò all'impossibilità di costruire canoe e quindi di emigrare. L'iniziale disponibilità di cibo e di risorse diede luogo a una crescita demografica esponenziale, che in breve tempo cominciò a compromettere l'ecosistema dell'isola, portando alla scomparsa di un'intera civiltà. Una società nata a spese dell'ambiente, che non seppe trovare un equilibrio con le risorse disponibili e senza la possibilità di integrarle da fonti esterne, finì con l'autodistruggersi.

Molti elementi relazionano Rapa Nui con la situazione della Terra, in quanto anche quest'ultima, è in realtà un'isola nell'universo. Anche se il progresso a cui siamo arrivati ci ha fatto perdere la stretta dipendenza dall'ambiente immediatamente circostante, dobbiamo considerare come il nostro pianeta abbia limiti fisici, risorse finite, e una ridotta capacità di assorbire i rifiuti e, in generale, di rinnovarsi. Analizzare ciò che è avvenuto in passato, imparando dalla morale della storia dell'Isola di Pasqua, può esserci utile per riconsiderare la nostra posizione nel mondo, e per cercare possibili soluzioni ai problemi presenti, e a quelli futuri.

1.1.2 Le dura legge dell'entropia

Jeremy Rifkin¹ nel libro «Economia all'idrogeno»², sulla strada tracciata da Georgescu Roegen, fondatore della bioeconomia, che egli stesso dichiara come “suo maestro”, relaziona due elementi apparentemente inconciliabili: il collasso di alcune società del

¹ Jeremy Rifkin (Denver; 1943) è un economista, attivista e saggista statunitense.

² Rifkin J., *Economia all'idrogeno*, Mondadori, Milano, 2009.

passato e le leggi della termodinamica. Approfondiamo quest'ultimo termine del discorso.

Le leggi della termodinamica, “scoperte” nel corso del XIX secolo, descrivono la trasformazione dell'energia, e sono dei veri e propri assiomi indimostrati e indimostrabili, che riescono a spiegare molteplici processi fisici, biologici e sociali del nostro mondo. La scoperta dei principi termodinamici è emblematica in quanto è uno dei rari casi in cui la pratica ha precorso la teoria³: la macchina a vapore di James Watt funzionava a dovere ma le conoscenze scientifiche di allora non erano in grado di spiegare come. Persino Albert Einstein rimase stupefatto per la semplicità e, al tempo stesso, l'universalità di queste leggi, tanto da asserire che la termodinamica classica sarà l'unica teoria fisica che non verrà mai messa in discussione.

I suoi principi base affermano che:

- il contenuto totale di energia nell'universo è costante;
- l'entropia totale è in continuo aumento.

Tradotta in termini popolari «nulla si crea, nulla si distrugge, tutto si trasforma»⁴. Il primo è un principio di conservazione dell'energia. In pratica, l'energia presente in un sistema sotto forma di calore o di lavoro non può essere creata, né distrutta. Un sistema può ricevere energia da un altro sistema o dall'ambiente, ma, considerando l'universo, la quantità totale di energia in gioco rimane sempre la stessa. Tuttavia l'energia può cambiare stato, per esempio trasformandosi da calore in lavoro. Questa trasformazione non è però (completamente) reversibile, portando a un aumento dell'entropia, che è la perdita di energia disponibile o unità di misura del disordine: la quantità quindi rimane invariata, ma la qualità dell'energia si degrada a ogni trasformazione, rendendosi sempre più inutilizzabile. Nel mondo naturale la direzione della trasformazione è a senso unico e cioè porta l'energia da una forma disponibile a una indisponibile. Per ripercorrere il processo al contrario è necessario immettere

³ <http://it.wikipedia.org/wiki/Termodinamica>

⁴ In realtà questa frase è del 1789 e appartiene a Antoine-Laurent de Lavoisier, inerente alla sua «legge di conservazione della materia» nelle reazioni chimiche.

altra energia, con il risultato finale di avere comunque aumentato l'entropia a livello dell'ambiente, come statuisce il secondo principio. Per esempio, anche riciclare rifiuti comporta il consumo di energia per la raccolta, il trasporto, e la lavorazione di materiali usati. Risalire la china, riportando il rifiuto a livello di materia prima seconda, comporta una certa spesa energetica, che andrà a discapito di un aumento dell'entropia generale.

Per fortuna, è possibile considerare la Terra, rispetto allo spazio che la circonda, come un sistema termodinamico chiuso (che scambia energia ma non materia), sottoposto a un costante flusso di energia derivante dal Sole. Grazie a questa energia è stato possibile lo sviluppo di forme di vita sempre più complesse e evolute, partendo da elementi di base dispersi e disordinati presenti sul nostro pianeta. Attraverso la fotosintesi, l'entropia negativa, sotto forma di energia chimica, è resa disponibile e può essere assorbita da organismi animali (come noi umani), che la degraderanno per mantenersi in vita. Se un giorno il flusso di energia da parte del sole dovesse interrompersi, tutti i sistemi biologici si fermerebbero in breve tempo, in quanto dipendenti dagli unici produttori di entropia negativa: le specie vegetali.

Oltre a processi fisici, chimici e biologici, anche quelli che a prima vista esulano dalla tirannia di leggi meccaniche, possono essere spiegati attraverso la lente di ingrandimento della termodinamica. Come già ricordato, Rifkin sostiene che la storia dell'avvento, dello sviluppo e della caduta delle grandi civiltà del passato possa essere spiegata come la vittoria della legge dell'entropia sulla volontà umana. Egli sostiene che il livello di sviluppo di ogni cultura si possa misurare dalla quantità di energia pro capite utilizzata. La struttura culturale e societaria viene a formarsi come strumento per realizzare un ottimale utilizzo, distribuzione e conservazione dell'energia in gioco. Come disse Buckminster Fuller a suo tempo: «un flusso di energia attraverso un sistema agisce in maniera tale da organizzare quel sistema». La nostra società, attraverso l'elevato flusso di energia stoccata nelle fonti fossili, è arrivata a un grado di organizzazione molto elevato, e non potrebbe tornare indietro, se non collassando. Più i sistemi sono complessi o aumentano il loro grado di complessità, maggiore deve

essere la quantità e la qualità dell'energia che essi dovranno assorbire per mantenersi in un costante disequilibrio con l'ambiente. L'entropia negativa raggiunta è pagata a spese dell'entropia globale in costante aumento. Per dirla con parole di Jeremy Rifkin «ogni civiltà finisce inevitabilmente per sottrarre all'ambiente più ordine di quanto riesca a crearne, impoverendo la terra per il semplice fatto di esistere». Una volta che il processo è in atto, tende per sua natura a aumentare, fino a raggiungere il collasso per mancanza di energia supplementare sufficiente a perpetrarne la sopravvivenza. Forse la storia della nascita e della fine delle civiltà è proprio questo.

I.1.3 Solare? Sì, grazie.

Nonostante la seconda legge della termodinamica, grazie alla nostra stella, il raggiungimento di un sistema Terra in cui l'entropia non aumenta (vedi pagina 25), può essere realizzato mediante 2 principi:

- l'aumento dell'efficienza energetica con una riduzione dei consumi, almeno di un ordine di grandezza inferiore rispetto a quelli attuali (fattore 10);
- soddisfacimento della ridotta richiesta di energia con tecnologie in grado di utilizzare e stoccare l'energia solare, in tutte le sue forme.

Sostenere che le fonti di energia rinnovabili siano in grado di sostituire completamente le fonti fossili, senza una revisione totale del sistema energetico sul quale siamo basati, è pura illusione. Il passaggio da una fonte all'altra avverrà in ogni caso per una semplice questione: le fonti fossili sono esauribili, quindi prima o dopo, termineranno. L'unica cosa che possiamo (potremmo) fare è scegliere *come* e *quando* affrontare questo cambiamento, giungendovi gradualmente e volontariamente, oppure aspettare che la storia faccia il suo corso, portando inevitabilmente al collasso di questa società. Nel mondo delle idee ogni cosa è possibile, ma la realtà è molto più complessa e cambiare sistema energetico, economico e sociale, è impresa tutt'altro che facile. Inoltre bisognerà fare i conti con i danni causati all'ambiente nel passato, nel presente e nel futuro.

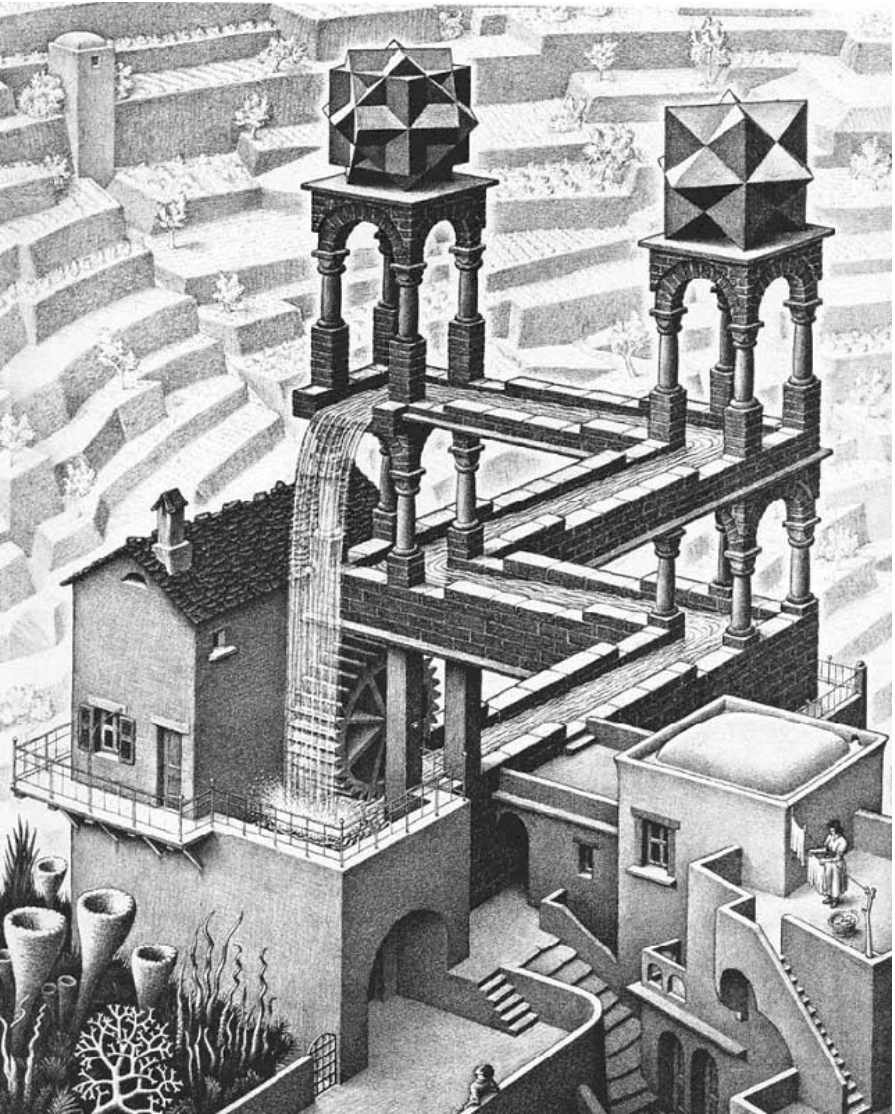


Illustrazione 2: in questa immagine, dal titolo «Cascata», Maurits Cornelis Escher rappresenta un sistema chiuso in movimento perpetuo che viola la legge di conservazione dell'energia.

I.2 Storia del pensiero ecologico

I.2.1 Da Malthus a Brundtland

«Lo sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni.»

- WCED, 1987 -

Le considerazioni fatte fin qui sono in parte legate al pensiero ecologico sviluppatosi negli ultimi quarant'anni e da tempo, almeno a livello di impegno politico, i governi nazionali di tutto il mondo si stanno mobilitando per trovare soluzioni a questi temi. Il pensiero ecologico globale odierno ci distanzia da quello del XX secolo, in quanto è ormai diffusa la consapevolezza delle interazioni fra uomo e natura in termini di flussi e cicli di materia, energia e informazione. Anche se l'effetto sulla nostra quotidianità è quasi insignificante, tutti noi siamo a conoscenza della finitezza del mondo in cui viviamo, dell'esaurimento a breve termine delle risorse e del continuo incremento dell'inquinamento ambientale. Il percorso verso una coscienza ambientale globale cominciò negli anni 70'-80' (in coincidenza con la crisi petrolifera del 1973), e da quel momento i governi della Terra si riuniscono periodicamente in convegni internazionali, con successi alterni, con lo scopo di realizzare accordi e redigere documenti per il contenimento dei consumi, degli inquinamenti e ultimamente, per porre un qualche rimedio all'emissione di gas climalteranti.

L'embrione di quello che sarà nel corso dei secoli un concetto poliedrico alla base del cosiddetto *sviluppo sostenibile*, è stato concepito per la prima volta dal pastore anglicano Thomas Robert Malthus, nel 1798, con la pubblicazione del libro «Saggio sul principio della popolazione e i suoi effetti sullo sviluppo futuro della società». In questo scritto, basandosi sull'osservazione di alcune colonie nel Nuovo Mondo, Malthus sostenne che l'incremento demografico seguisse una progressione

geometrica (1, 2, 4, 8, ...) mentre le risorse naturali, le terre coltivabili, crescessero secondo una legge aritmetica (1, 2, 3, 4, ...). Questa differenza porterebbe alla coltivazione di nuove terre sempre meno fertili (come indicato poi negli studi di D. Ricardo), fino all'arresto di tutto il sistema a causa di penurie alimentari, carestie, epidemie, guerre. Il progresso tecnologico capace di aumentare la produttività delle terre, non fu considerato in questo studio, ma, in ogni caso, le considerazioni a lungo termine non cambiano. Successivamente si aggiunsero considerazioni sulle scorte di carbone, su cui la società industriale ottocentesca era basata, e di petrolio.

Buckminster Fuller (inventore, architetto, ingegnere, scrittore, poeta, matematico, designer, filosofo, educatore), sulla scia di questi studi, ampliò il discorso a tutto il sistema terrestre. Egli fu uno dei primi a propagare una visione del mondo sistemica, (celebre il suo libro «Operating manual for Spaceship Earth»⁵ del 1968) e, già dagli anni '30 del secolo scorso, esplorò i principi dell'efficienza energetica e dell'uso razionale dei materiali. Considerando il ciclo di lavorazione e utilizzo del petrolio dal punto di vista del "budget energetico planetario", derivante principalmente dalla quantità di raggi solari ricevuti dal pianeta, Fuller calcolò che ogni litro di petrolio consumato costa al pianeta oltre 300.000 dollari per essere prodotto. In particolare identificò il consumo per il trasporto di pendolari una perdita secca in confronto ai guadagni generati⁶. «Le risorse della terra sono esauribili e danneggiabili e pertanto sono state adeguate solo sino a questo momento critico»; tuttavia «noi siamo in grado di fare così tanto con così poco che possiamo provvedere ai bisogni basilari del 100% dell'umanità». Il motto alla base di tutte le sue ricerche fu «fare più con meno», o *ephemeralization*, e cioè poter compiere più e più funzioni con meno e meno energia, materiali e tempo impiegati.

Il padre del concetto di sostenibilità fu, a tutti gli effetti, Kenneth E. Boulding, che nel 1966 pubblicò un saggio dal titolo «The Economics of the Coming Spaceship Earth». Egli individuò la nostra epoca come un momento di transizione fra un'economia a

5 Buckminster Fuller R., *Operating manual for spaceship earth*, L. Müller, Baden, 2008.

6 http://it.wikipedia.org/wiki/Richard_Buckminster_Fuller

ciclo «aperto» e una a ciclo «chiuso». Vediamo cosa si intende con questi due termini. Come per i sistemi termodinamici, le variabili da considerare sono materia e energia. La materia e l'energia necessarie a compiere il processo, in un sistema aperto, vengono ricavate dall'esterno. L'energia viene utilizzata per compiere del lavoro sulla materia, e si degrada in base alla seconda legge delle termodinamica. Terminata la produzione e il consumo, anche la materia diventa un'uscita del sistema, disperdendosi nell'ambiente e diventando così inutilizzabile. L'entropia, non solo energetica, ma anche materiale, del sistema è aumentata rispetto all'inizio del processo. Boulding battezzò uno sistema a a ciclo aperto come economia del «cow-boy»: infinita disponibilità di spazi e di risorse, materiali, energia con altrettanto inesauribile capacità dell'ambiente di assorbire rifiuti e scorie prodotti. Questo tipo di visione del mondo era insista nelle civiltà umane, fino a quando si comprese la sfericità della superficie terrestre, e quindi la sua limitatezza. Con lo sviluppo dell'aviazione e la conquista dello spazio da parte dell'uomo, questa idea si instaurò anche nell'immaginario collettivo. Tutto ciò potrebbe portare alla nascita di un sistema socio-economico chiuso, in cui materia in uscita torna a essere di ingresso, a fronte di un'inevitabile spesa energetica accessoria per far sì che ciò avvenga. A differenza di quanto impone la seconda legge della termodinamica sull'energia, per quanto riguarda la materia un sistema a entropia totale zero o negativa, ossia dove si passa da una dispersione a una concentrazione, da disordine a ordine, è possibile. Tutto ciò è confortante. Nel sistema descritto le uscite sono connesse con gli ingressi di altre parti del sistema stesso. Non ci sono relazioni con l'ambiente, con l'esterno: l'esterno non esiste proprio. Boulding chiamò questo sistema «economia dell'astronauta»: capacità rigenerativa dei materiali con il solo apporto di energia dell'esterno. «La misura essenziale del successo dell'economia non è esclusivamente la produzione e il consumo, ma la natura, l'estensione, la qualità e la complessità dello stock totale di capitale, comprese le risorse umane nella loro dimensione fisica e mentale.». Al consumo si sostituisce il risparmio, al rifiuto il riuso o il riciclo, alla quantità la qualità. In realtà, tutti gli organismi viventi (e le società umane) sono "sistemi aperti".

Considerando però gli ecosistemi e la natura in generale, essi sono chiusi, in quanto gli ingressi e le uscite dei sottosistemi che li compongono sono connessi a altre parti, chiudendo, come in una catena, il ciclo. L'obiettivo da raggiungere secondo Boulding è proprio il passaggio fra questi due tipi di sistemi: il primo miope, che porta necessariamente alla crisi in quando si scontra con un mondo finito, mentre il secondo capace di rigenerarsi nel tempo. Già nel 1966 i concetti alla base di quello che sarà il cosiddetto "sviluppo sostenibile", furono definiti.

Un documento fondamentale, che pose le basi per la nascita dell'ambientalismo scientifico nel secolo scorso, fu il celebre rapporto commissionato dal Club di Roma⁷ al M.I.T.⁸, pubblicato nel 1972, dal titolo «I limiti dello sviluppo»⁹. Vennero messi in relazione gli ingressi e le uscite del modello socio-economico mondiale, simulandone, attraverso modelli computerizzati, i possibili scenari futuri. In estrema sintesi, le conclusioni furono:

- se l'attuale tasso di crescita della popolazione, dell'industrializzazione, dell'inquinamento, della produzione di alimenti e dello sfruttamento delle risorse (le principali variabili del sistema mondiale) continuerà inalterato, i limiti dello sviluppo su questo pianeta saranno raggiunti in un momento imprecisato entro i prossimi 100 anni. Il risultato più probabile sarà un declino improvviso e incontrollabile della popolazione e della capacità industriale;
- è possibile modificare i tassi di sviluppo e giungere a una condizione di stabilità ecologica e economica, sostenibile anche nel lontano futuro. Lo stato di equilibrio globale dovrebbe essere progettato in modo che le necessità di ciascuna persona sulla Terra siano soddisfatte, e ciascuno abbia uguali opportunità di realizzare il proprio potenziale umano.

⁷ Associazione non governativa, no-profit, di scienziati, economisti, uomini d'affari, attivisti dei diritti civili, alti dirigenti pubblici internazionali e capi di stato di tutti e cinque i continenti. La sua missione è di agire come catalizzatore dei cambiamenti globali, individuando i principali problemi che l'umanità si troverà ad affrontare, analizzandoli in un contesto mondiale e ricercando soluzioni alternative nei diversi scenari possibili. (Fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/Club_di_Roma)

⁸ Massachusetts Institute of Technology.

⁹ Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W.W., *I limiti dello sviluppo*, Mondadori, Milano, 1972.

A distanza di quasi quarant'anni, le previsioni scientifiche del rapporto *Meadows*, così chiamato dal nome dell'autrice principale, si sono rivelate corrette¹⁰.

Nello stesso anno del rapporto del M.I.T., a Stoccolma, nel primo «Summit delle Nazioni Unite su Uomo e Ambiente», 113 nazioni si incontrano e redassero un piano d'azione con 109 raccomandazioni. Venne inoltre adottata una Dichiarazione sui diritti e doveri dell'uomo in relazione all'ambiente, tra cui:

- la libertà, l'uguaglianza e il diritto a adeguate condizioni di vita;
- le risorse naturali devono essere protette, preservate, opportunamente razionalizzate per il beneficio delle generazioni future;
- la conservazione della natura deve avere un ruolo importante all'interno dei processi legislativi e economici degli Stati.

Sull'onda di queste considerazioni nel 1987 la Commissione Mondiale sull'ambiente e lo sviluppo (WCED) rilasciò un rapporto dal titolo «Our Common Future» (conosciuto anche come «Rapporto Brundtland», dal nome della presidentessa della commissione, Gro Harlem Brundtland, Primo Ministro norvegese). In questo documento venne per la prima volta istituzionalizzato e definito il concetto di sviluppo sostenibile come «uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni».

Lo studio è diviso in tre parti:

- I parte: preoccupazioni comuni
«La sostenibilità richiede una considerazione dei bisogni e del benessere umani tale da comprendere variabili non economiche come l'istruzione e la salute, valide di per sé, l'acqua e l'aria pulite e la protezione delle bellezze naturali...»
- II parte: sfide collettive

¹⁰ Alcuni dei componenti di ricerca del gruppo originario pubblicarono un altro studio sui medesimi argomenti dal titolo «Oltre i limiti dello sviluppo» nel quali si sostenne che i limiti stabiliti in precedenza fossero già stati raggiunti. Tuttavia questo rapporto gettò le basi per un possibile modello di sviluppo durevole, che sia sostenibile per l'economia e l'ambiente. L'ultimo aggiornamento è stato pubblicato nel 2004 dal titolo «Limits to Growth: The 30-Year Update».

«Nella pianificazione e nei processi decisionali di governi e industrie devono essere inserite considerazioni relative a risorse e ambiente, in modo da permettere una continua riduzione della quota che energie e risorse hanno nella crescita, incrementando l'efficienza nell'uso delle seconde, incoraggiandone la riduzione e il riciclaggio dei rifiuti...»

- III parte: sforzi comuni

«La protezione ambientale e lo sviluppo sostenibile devono diventare parte integrante dei mandati di tutti gli enti governativi, organizzazioni internazionali e grandi istituzioni del settore privato; a essi va attribuita la responsabilità di garantire che le loro politiche, programmi e bilanci favoriscano e sostengano attività economicamente e ecologicamente accettabili a breve e a lungo termine...»

Il modello di crescita economica non venne messo in discussione, anzi si credette che il progresso tecnologico potesse portare a una nuova fase di crescita (stavolta sostenibile). Tuttavia si comprese come lo sviluppo non potesse sussistere su una base di risorse ambientali in via di deterioramento, e che l'ambiente non potesse essere protetto qualora la crescita non tenga conto del fattore antieconomico della distruzione ambientale. Vengono così riconosciuti come ambiente, economia e società siano settori connessi e interdipendenti.

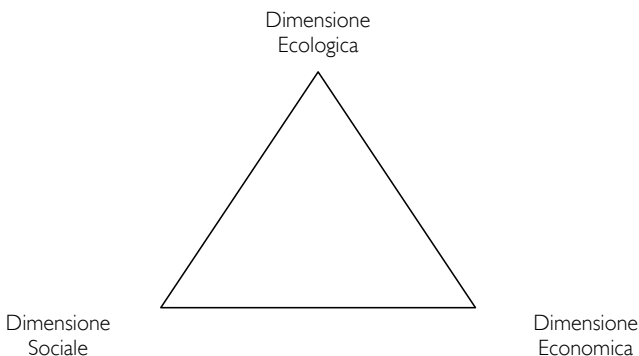


Illustrazione 3: dimensioni dello sviluppo sostenibile.

La società sostenibile è a basso spreco, basata sul riciclaggio di energia e materiali, sul riciclo e riuso di risorse non rinnovabili, sull'utilizzo efficiente e efficace delle risorse, sul contenimento dei consumi energetici, sull'adozione di tecnologie pulite per prevenire e ridurre l'inquinamento, sulla riduzione della produzione di rifiuti, sull'utilizzo consapevole delle risorse rinnovabili e sul controllo della crescita della popolazione, e sull'equità. Per la prima volta la valutazione della sostenibilità viene effettuata in un orizzonte temporale che rompe gli scenari usali di mercato, arrivando a toccare il futuro delle prossime generazioni. Viene affermato così il principio secondo cui la responsabilità del mondo in cui viviamo non ci è concessa dai padri ma data in prestito dai figli.

1.2.2 Convenzione sul Clima

Nel 1992, durante la Conferenza ONU su Ambiente e Sviluppo (chiamato anche Summit della Terra per l'importanza mondiale che ricoprì l'evento) tenutasi a Rio de Janeiro, 178 governi di tutto il mondo, tra cui l'Italia, promulgarono la famosa Dichiarazione di Rio sullo Sviluppo Sostenibile. A vent'anni di distanza dalla Conferenza di Stoccolma, l'obiettivo della Conferenza fu quello di definire le problematiche ambientali in atto, stabilendo gli interventi possibili a breve, medio e lungo termine. I punti di riflessione riguardarono la possibilità di un continuo sviluppo economico che permetteste uguaglianza e rispetto per l'ambiente. I principi della Dichiarazione furono associati a un programma di azione per il XXI secolo, ampio e articolato, noto come Agenda 21.

Questo documento è diviso in 4 capitoli per un totale di 40 obiettivi, e contiene proposte dettagliate per quanto riguarda le aree economiche, sociali e soprattutto ambientali: lotta alla povertà, cambiamento dei modelli di produzione e consumo, dinamiche demografiche, conservazione e gestione delle risorse naturali, protezione dell'atmosfera, degli oceani e della biodiversità, prevenzione della deforestazione, promozione di un' agricoltura sostenibile. La peculiarità di questo programma, è di

poter essere applicato non solo a livello globale, ma anche a scala regionale e locale. Il capitolo 28 della Agenda 21, proprio in considerazione delle peculiarità di ogni singola realtà, invita le autorità locali a dotarsi di una propria Agenda locale, per educare, mobilitare e rispondere ai cittadini nell'attuazione degli obiettivi di sviluppo sostenibile, attraverso nuovi strumenti di informazione e partecipazione: «ogni autorità locale, dovrebbe dialogare con i cittadini, le organizzazioni locali e le imprese private». «Attraverso la consultazione e la costruzione del consenso, le autorità locali dovrebbero apprendere e acquisire dalla comunità locale e dal settore industriale, le informazioni necessarie per formulare le migliori strategie». Da quella data infatti, sono molte le comunità che hanno predisposto una Agenda 21 locale, fra cui anche Regioni, Provincie e Comuni italiani¹¹.

Un altro importante risultato della Conferenza fu la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici, il primo accordo internazionale in tale ambito. In occasione di due conferenze mondiali scientifiche antecedenti, tenutesi a Ginevra rispettivamente nel 1979 e nel 1990, i cambiamenti climatici, dovuti all'aumento di concentrazione in atmosferica di gas a effetto serra, erano stati riconosciuti come un problema mondiale riguardante tutta l'umanità e era stato inoltre preparato un primo accordo internazionale sulla protezione del clima. Questa convenzione, che ne è il risultato, riconosce le responsabilità comuni, ma differenziate, degli Stati per la gestione dei problemi legati ai cambiamenti climatici. Sottolinea inoltre la particolare responsabilità dei Paesi industrializzati, i quali, se da un lato emettono quantità di gas a effetto serra al di sopra della media, dall'altro dispongono anche delle competenze tecniche e delle risorse finanziarie necessarie per adottare misure di riduzione adeguate. L'obiettivo della Convenzione è quello di «stabilizzare le concentrazioni di gas a effetto serra nell'atmosfera a un livello tale che sia esclusa qualsiasi pericolosa interferenza delle attività umane sul sistema climatico terrestre»,

¹¹ Un impulso decisivo in questa direzione viene dalla nascita del Coordinamento nazionale Agende 21 locali nel 1999 a Ferrara, recentemente trasformato in Associazione. Oggi in Italia sono numerose le amministrazioni che, firmando la Carta di Aalborg e aderendo alla Campagna europea città sostenibili, stanno promuovendo processi di Agenda 21 locale sul proprio territorio.

obbligando i paesi firmatari a perseguire un obiettivo «non vincolante» per ridurre le concentrazioni atmosferiche dei gas serra. Secondo i termini dell'UNFCCC (in inglese, United Nations Framework Convention on Climate Change, da cui l'acronimo precedente), avendo ricevuto le ratifiche di più di 50 Paesi¹², il trattato entrò in vigore il 24 marzo 1994. Esso includeva previsioni di aggiornamenti (denominati "protocolli") che avrebbero posto precisi obblighi di riduzione delle emissioni. Da quel momento, le parti si sono incontrate annualmente nella Conferenza delle Parti (COP) per analizzare i progressi nell'affrontare il cambiamento climatico, arrivando a firmare il celebre protocollo di Kyoto (1997), di cui si tratterà nelle pagine successive.

Dopo Rio, affinché l'Europa risponda positivamente alla sfida dello sviluppo sostenibile, venne organizzata nel 1994 la Conferenza di Aalborg nel cui ambito nasce la Campagna europea città sostenibili. La Conferenza di Lisbona del 1996 e quella di Hannover del 2000 hanno rappresentato un momento di confronto importante per i paesi che hanno raccolto questa sfida. A 10 anni dopo il Summit di Rio, a Johannesburg, dal 26 agosto al 4 settembre 2002, si è tenuto il Vertice Mondiale sullo Sviluppo Sostenibile (WSSD). Questo Summit si è svolto in un momento di grande incertezza, dopo il rifiuto degli Stati Uniti di ratificare il Protocollo di Kyoto, risolvendosi in un nulla di fatto, così come la Conferenza Mondiale sul Clima di Nairobi nel 2006. Seppur con le difficoltà della sua attuazione, il Protocollo di Kyoto rimane l'unico accordo internazionale vincolante sull'emissioni di gas serra attualmente vigente.

12 Gli stati firmatari (attualmente 194) dell'UNFCCC sono suddivisi in tre gruppi:

- Paesi dell'Allegato I (Paesi industrializzati)
- Paesi dell'Allegato II (Paesi industrializzati che pagano per i costi dei Paesi in via di sviluppo)
- Paesi in via di sviluppo.

I Paesi dell'Annesso I concordano nel ridurre le loro emissioni (in particolare di biossido di carbonio) a livelli obiettivo inferiori alle loro emissioni del 1990. Se non possono farlo, devono acquistare crediti di emissione o investire nella conservazione. I Paesi in via di sviluppo non hanno obblighi immediati.

I.2.3 Sviluppo (in)sostenibile

«Se aumentassimo gradualmente il carico di una nave, potremmo anche cercare di distribuirlo in modo ottimale, ma a un certo punto la nave affonderebbe, con la consolazione di un affondamento ottimale.»

- Hermann Daly -

Nelle prossime pagine andremo a affrontare la situazione odierna, con gli accordi attualmente in vigore per la tutela e la salvaguardia dell'ambiente, lo stato di salute del pianeta Terra, fino a arrivare alla situazione italiana. A conclusione di questa parte, riguardante lo sviluppo del pensiero ecologico della società moderna e contemporanea, è necessario considerare un nuovo approccio al problema (in realtà formulato fin dagli anni sessanta), fortemente critico verso la visione dello sviluppo sostenibile, fino a ora presentata. Prendiamo a esempio ciò che Serge Latouche¹³ ci presenta come "la saggezza della lumaca": «La lumaca, dice Ivan Illich, costruisce la delicata architettura della sua conchiglia aggiungendo una dopo l'altra delle spire sempre più grandi, poi cessa bruscamente e dà inizio a avvolgimenti, questa volta decrescenti. Il fatto è che una sola, ulteriore, spira più larga, conferirebbe alla conchiglia una dimensione di sedici volte maggiore. Invece di contribuire al benessere dell'animale, lo sovraccaricherebbe. Ogni aumento di produttività della lumaca servirebbe soltanto a controbilanciare le difficoltà create dall'ingrandimento della conchiglia oltre i limiti fissati dalla sua ragione d'essere. Superato il punto limite di allargamento delle spire, i problemi della crescita eccessiva si moltiplicano in progressione geometrica, mentre le capacità biologiche della lumaca non possono, nel migliore dei casi, che seguire una progressione aritmetica.». Nelle parole di Latouche possiamo riconoscere l'eredità malthusiana e del rapporto del MIT. Il divorzio della lumaca dalla ragione geometrica, che per altro aveva sposato per un certo periodo di tempo, ci mostra quale potrebbe essere la strada da seguire.

¹³ Latouche S., *Breve trattato sulla decrescita serena*, Bollati Boringhieri, Torino, 2008.

Secondo quanto detto, il concetto di sviluppo non potrà mai, in nessun caso, considerarsi sostenibile, in quanto legato indissolubilmente al miraggio della crescita continua. In realtà, questo concetto è al tempo stesso un pleonaso a livello di definizione, e un ossimoro a livello di contenuto. Pleonaso perché lo sviluppo è già di per se una *self-sustaining growth* (crescita autosostenuta); ossimoro perché lo sviluppo infinito in un mondo con risorse finite non è possibile, ne durevole. Per realizzare la quadratura del cerchio, lo sviluppo sostenibile ha ormai trovato il suo strumento privilegiato: i "meccanismi di sviluppo puliti" (vedi a proposito pagina 60), espressione che indica tecnologie a basso impiego di energia o di carbone, all'insegna della ecoefficienza. Ma si rimane sempre nel mondo della diplomazia verbale. Le realizzazioni innegabili e auspicabili della tecnica non contraddicono in alcun modo la logica suicida dello sviluppo. Inoltre, il termine *sviluppo sostenibile* è così alla moda, talmente ampio e condito in tutte le salse, che chiunque può rivendicarlo. A ogni modo, questo modello sembra non funzionare.

Il delirio quantitativo ci condanna a precipitare nell'insostenibile: è quello che potremmo definire il teorema dell'alga verde: «Un bel giorno, incoraggiata dall'uso massiccio di concimi chimici da parte degli agricoltori circostanti, una piccola alga verde comincia a prosperare in un grandissimo stagno. Anche se la sua diffusione annua è rapida, di una progressione geometrica con fattore 2, nessuno se ne preoccupa. In effetti, anche raddoppiando ogni anno, l'alga coprirà l'intera superficie dello stagno in trent'anni: e al termine del ventiquattresimo anno sarà colonizzato soltanto il 3% dello specchio d'acqua! Forse ci si comincerà a preoccupare quando l'alga avrà colonizzato la metà della superficie, facendo sorgere una minaccia di eutrofizzazione, cioè di asfissia della vita acquatica. Anche se per arrivare a quel punto ci sono voluti decenni, basterà un solo anno per provocare la morte irrimediabile dell'ecosistema lacustre.».

Noi siamo arrivati esattamente al momento in cui l'alga verde ha colonizzato la metà del nostro stagno. «Oggi produciamo per poter vendere, vendiamo per poter

produrre, produciamo per poter lavorare.»¹⁴. Lavoriamo freneticamente sempre per più ore per comprare cose di cui non abbiamo bisogno. Per noi abitanti del Nord del mondo, persino l'alimentazione è tornata a essere un problema. Consumiamo troppa carne, troppi grassi, troppo zucchero, troppo sale. Siamo minacciati dal sovrappeso. Rischiamo il diabete, la cirrosi epatica, l'eccesso di colesterolo e l'obesità. Questo circolo vizioso potrebbe essere rotto qualora ci si rendesse conto che con *meno* starebbe meglio, a patto di rifiutare il PIL come il termometro della nostra felicità¹⁵. La decrescita, quindi, potrebbe rivelarsi come l'unica vera soluzione.

Nel suo *Breve trattato sulla decrescita serena*, Latouche definisce la decrescita come un'"utopia concreta" riprendendo le parole di Ernst Bloch¹⁶: «senza l'ipotesi che un altro mondo è possibile non c'è politica, c'è soltanto la gestione amministrativa degli uomini e delle cose.». La decrescita dunque, è un progetto politico nel senso forte del termine, un progetto di costruzione di società conviviali autonome e economie, senza con questo essere un programma in senso strettamente elettorale. È in questo modo che va inteso il circolo delle "8 R":

- *Rivalutare* i valori che stanno alla base della nostra società: è sotto gli occhi di tutti che questi valori sono diventati vuoti simulacri. L'altruismo dovrebbe prevalere sull'egoismo, la collaborazione sulla competizione, il piacere del tempo libero sull'ossessione del lavoro;
- *Riconcettualizzare* i valori dà luogo a una visione diversa del mondo e dunque a un altro modo di vedere la realtà. Ridefinire o ridimensionare è essenziale, a esempio, per il concetto di ricchezza/rarità;
- *Ristrutturare* significa adeguare l'apparato produttivo al cambiamento dei valori;
- *Ridistribuire* riguarda la ripartizione delle ricchezze e dell'accesso al patrimonio naturale tanto tra il Nord e il Sud quanto all'interno di ciascuna

¹⁴ Beppe Grillo in «Un programma politico per la decrescita», Edizioni per la decrescita felice, Roma, 2008.

¹⁵ Vedi a riguardo il discorso di Robert Kennedy, presso l'università del Kansas, del 18 marzo 1968.

¹⁶ Bloch E., *Il principio della speranza*, Garzanti, Milano, 1994.

società, tra le classi, le generazioni, gli individui;

- *Rilocalizzare* significa produrre in massima parte a livello locale i prodotti necessari a soddisfare i bisogni della popolazione. Se le idee devono ignorare le frontiere, al contrario i movimenti di merci e capitali devono essere limitati all'indispensabile;
- *Ridurre* l'impatto sulla biosfera dei nostri modi di produrre e di consumare;
- *Riutilizzare*, ridurre lo spreco sfrenato, combattere l'obsolescenza programmata delle attrezzature;
- *Riciclare* i rifiuti non direttamente riutilizzabili.

Tutto ciò delinea un'utopia possibile, vale a dire la costruzione intellettuale di un funzionamento ideale, ma al tempo stesso concreta, in quanto parte da dati esistenti e da evoluzioni realizzabili. Purtroppo, il riconoscimento della crescita come il vero problema, e della decrescita come l'unica soluzione a esso, è ancora molto lontano nel tempo. In nessun accordo internazionale si è mai posto l'accento su di essa, anzi, ultimamente sembra addirittura che si voglia disconoscere il legame sviluppo-inquinamento¹⁷. Tuttavia, quanto esposto fino a qui, rappresenta la possibilità di realizzare un altro mondo, desiderabile, necessario e fattibile, se lo vogliamo.

17 «La visione dell'ambiente come limite allo sviluppo fa parte ormai di un bagaglio culturale obsoleto.» (Fonte: Stefania Prestigiacomo, Ministro dell'Ambiente in «Le sfide ambientali, documento di sintesi sullo stato dell'ambiente in Italia 2009») «La sostenibilità dello sviluppo è diventato un tema che associa all'esigenza della salvaguardia del pianeta quella della crescita.» (Fonte: ENEA, *Rapporto energia e ambiente 2008*)

Politica climatica internazionale: tappe e risultati¹⁸

- 1972: Rapporto MIT: «I limiti dello sviluppo»
- 1979: prima Conferenza mondiale sul clima
- 1987: Rapporto Brundtland: «Our common future»
- 1988: istituzione dell'IPCC
- 1990: primo Rapporto di valutazione dell'IPCC
- 1990: seconda Conferenza mondiale sul clima
- 1992: Vertice della Terra di Rio de Janeiro
- 1995: secondo Rapporto di valutazione dell'IPCC
- 1995: COP1: Berlino
- 1996 : COP2: Ginevra
- 1997: COP3: Kyoto
- 1998: COP4: Buenos Aires
- 1999: COP5: Bonn
- 2000: COP6: L'Aia
- 2001: terzo Rapporto di valutazione dell'IPCC
- 2001: COP6 bis: Bonn
- 2001: COP7: Marrakesh
- 2002: COP8: Nuova Delhi
- 2003: COP9: Milano
- 2004: COP10: Buenos Aires
- 2005: COP11/MOP1: Montreal
- 2005: Primo bilancio sul Protocollo di Kyoto
- 2006: COP12/MOP2: Nairobi
- 2007: Quarto Rapporto di Valutazione dell'IPCC
- 2007: COP13: Bali
- 2008: COP14: Poznan
- 2009: COP 15: Copenaghen
- 2010: COP 16: Cancún

18 <http://www.bafu.admin.ch>

I.3 Ieri



Illustrazione 4: il pianeta Terra dallo spazio.

I.3.1 Il nostro pianeta

La Terra ha approssimativamente 5 miliardi di anni. L'umanità è presente su questo pianeta da solo lo 0,004% di questo periodo di tempo. L'*Homo sapiens* fece la sua comparsa circa 200.000 anni fa vivendo in questo lasso di tempo, drammatici cambiamenti climatici, riuscendo però a sopravvivere. Negli ultimi 12.000 anni, il clima è stato relativamente mite e stabile, permettendo all'umanità di prosperare. Durante questo periodo, l'Uomo scoprì come coltivare piante e allevare animali, per provvedere al suo sostentamento, senza doversi spostare continuamente per cacciare o trovare cibo. L'Uomo imparò così a gestire l'energia solare cadente sulla Terra, sotto forma di energia chimica stoccata negli organismi vegetali e energia meccanica proveniente dal lavoro degli animali, sfruttandola a suo favore. Questa "scoperta" ruppe per la prima volta il legame con la natura e permise alla popolazione di aumentare, garantendo una quantità di cibo maggiore rispetto a

quella che l'ambiente offriva naturalmente. L'evoluzione dell'Uomo da quel momento in poi procedette senza limiti e le sue attività cominciarono a pesare sempre più sull'ambiente circostante, restando tuttavia vincolate a quello che il Sole era in grado di "offrire". Solo due secoli fa, questo equilibrio "sostenibile", almeno dal punto di vista globale, venne infranto definitivamente. L'Uomo scoprì, dopo quella solare, una nuova e potente fonte di energia, giacente sotto i suoi piedi: i combustibili fossili, prima sotto forma di carbone e, successivamente, di petrolio. Questa immensa potenza, propulsore di uno sviluppo senza precedenti, ha portato l'Uomo, soprattutto negli ultimi 50 anni, a incidere sugli ecosistemi terrestri più rapidamente e intensamente che in qualsiasi altro periodo della storia. Oltre a effetti locali, riscontrabili direttamente, le attività umane della nostra epoca stanno pericolosamente influenzando il clima a scala globale: l'Uomo è diventato una delle forze della natura, ma solo da poco tempo se ne è reso conto. La comprensione di questi fenomeni impone grandi responsabilità di azione, non più rimandabili al futuro.

1.3.2 La temperatura sale

«La maggior parte dell'aumento osservato delle temperature medie globali dalla metà del XX secolo, è *molto probabilmente* dovuto all'aumento osservato delle concentrazioni di gas serra di origine antropica.»

- IPCC, AR4 (2007) -

L'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) fu istituito nel 1988 dalla World Meteorological Organization (WMO) e dallo United Nations Environment Programme (UNEP), e si tratta di un gruppo di esperti con il compito di fornire ai decisori politici, una valutazione scientifica della letteratura tecnico-scientifica e socio-economica disponibile in materia di cambiamenti climatici, impatti, adattamento, mitigazione, pubblicando periodicamente dei rapporti in merito. Questi documenti

fungono da supporto tecnico su cui si basano, dal 1990 (data del primo rapporto), le Conferenze Internazionali sul Clima, e possono essere considerati come lo stato dell'arte della conoscenza scientifica in materia di cambiamenti climatici. Fino a oggi sono stati pubblicati 4 rapporti, l'ultimo risalente al 2007¹⁹, conosciuto con il nome AR4 (Fourth Assessment Report).

In questo rapporto, viene affermato con certezza che «il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile, come è ora evidente dalle osservazioni dell'aumento delle temperature medie globali dell'aria e delle temperature degli oceani, dello scioglimento diffuso di neve e ghiaccio, e dell'innalzamento del livello del mare medio globale». Inoltre vi è grande certezza, maggiore rispetto al rapporto precedente (2001), che il riscaldamento globale abbia cause antropiche. Le concentrazioni globali in atmosfera di anidride carbonica, metano e protossido di azoto, sono notevolmente aumentate come risultato dell'attività umana dal 1750, con un incremento del 70% tra il 1970 e il 2004 (del 24% tra il 1990 e il 2004), e attualmente superano i valori

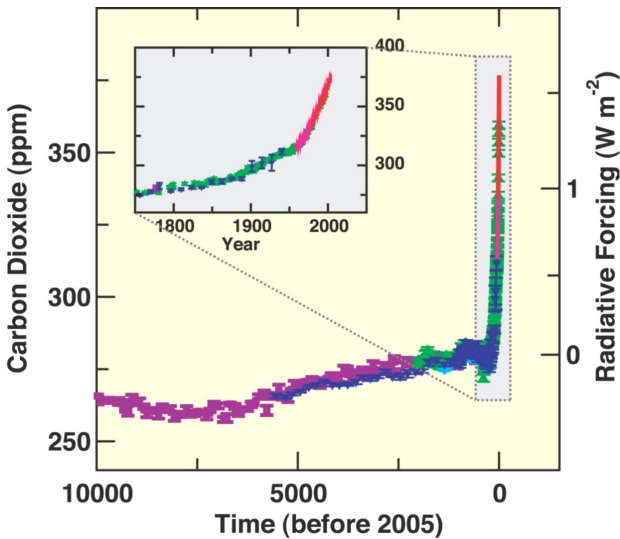


Grafico I: concentrazioni di CO₂ in atmosfera.

¹⁹ In quello stesso anno fu assegnato all'IPCC, e a Al Gore, il Premio Nobel per la pace.

pre-industriali, come dimostrato dall'analisi delle carote di ghiaccio che rappresentano molte migliaia di anni. La crescita maggiore delle emissioni globali di GHG²⁰ fra il 1970 e il 2004 proviene dal settore energetico (con un aumento del 145%). L'incremento globale della concentrazione di anidride carbonica è infatti dovuto principalmente all'uso di combustibili fossili (85%) e a cambiamenti d'uso del suolo (15%), mentre gli incrementi di metano e protossido di azoto sono principalmente imputabili all'agricoltura. In particolare la CO₂, che incide per il 76,7% sull'effetto totale dei gas serra climalteranti, è cresciuta da un valore pre-industriale di circa 280 ppm, a un valore di 379 ppm nel 2005, valore che supera notevolmente il range naturale degli ultimi 650.000 anni (180÷300 ppm). Le emissioni sono cresciute da circa 0 a 31,2 miliardi di tonnellate, tenendo conto esclusivamente delle emissioni provenienti dall'utilizzo dei combustibili fossili nei processi di combustione e nella produzione del cemento²¹. Dal 1750 al 2000 sono stati estratti dal sottosuolo e bruciati combustibili fossili pari a circa 390 miliardi di tonnellate di carbonio, che hanno, a loro volta, prodotto circa 1.400 miliardi di tonnellate di anidride carbonica. Il 57% di questa quantità è stata assorbita dagli oceani (in parte disciolta in acqua e in parte assorbita dal fitoplancton) e dalla vegetazione terrestre (attraverso la fotosintesi clorofilliana)²². Tutto ciò ha portato a un generale aumento dell'effetto serra globale²³, facendo aumentare la temperatura media terrestre, e provocando numerosi cambiamenti del clima di lungo termine alle scale continentali, regionali e di bacino oceanico. Questi cambiamenti includono variazioni delle temperature e dei ghiacci nell'Artico e della Groenlandia, estese variazioni delle quantità delle precipitazioni, della salinità dell'oceano, delle strutture dei venti e delle tipologie di eventi estremi come siccità, forti precipitazioni, ondate di calore e intensità dei cicloni

20 GreenHouse Gases, ossia gas a effetto serra.

21 Global Carbon Project, *Recent carbon trends and the global carbon budget 2007, 2008*.

22 Se così non fosse stato avremmo raggiunto a oggi un valore pari a 500 ppm.

23 L'effetto serra è un processo fisico naturale, conosciuto fin dal XIX secolo, e permette alla Terra di essere abitabile in quanto, in sua assenza, la temperatura terrestre sarebbe di circa 34°C più fredda, con una temperatura media di -19°C. Tuttavia, l'aumento della concentrazione in atmosfera di gas a effetto serra sta forzando il benefico effetto serra naturale, prospettando pericolosi aumenti della temperatura terrestre, già in parte osservabili.

tropicali, destinati a diventare più frequenti, più diffusi e più intensi, durante il XXI secolo. I 11 degli ultimi 12 anni (1995-2006) si classificano fra i più caldi mai registrati da quando si hanno misure globali di temperatura alla superficie (1850).

A livello globale la maggior parte delle componenti della criosfera sta subendo una riduzione generalizzata dell'estensione, sempre più rapida negli ultimi decenni. I ghiacciai montani e la copertura nevosa sono mediamente diminuiti in entrambi gli emisferi, comportando un aumento del livello del mare. Nel periodo 1850-2005 la temperatura superficiale del mare a livello globale è aumentata di $0,038 \pm 0,011$ °C. Il livello del mare medio globale è cresciuto a un tasso medio di 1,8 mm all'anno dal 1961 al 2003, mentre durante il periodo 1993-2003, il tasso di crescita è stato maggiore: circa 3,1 mm all'anno. L'ultima volta che le regioni polari furono significativamente più calde rispetto a oggi per un lungo periodo di tempo (circa 125.000 anni fa), le riduzioni di volume del ghiaccio polare portarono a un

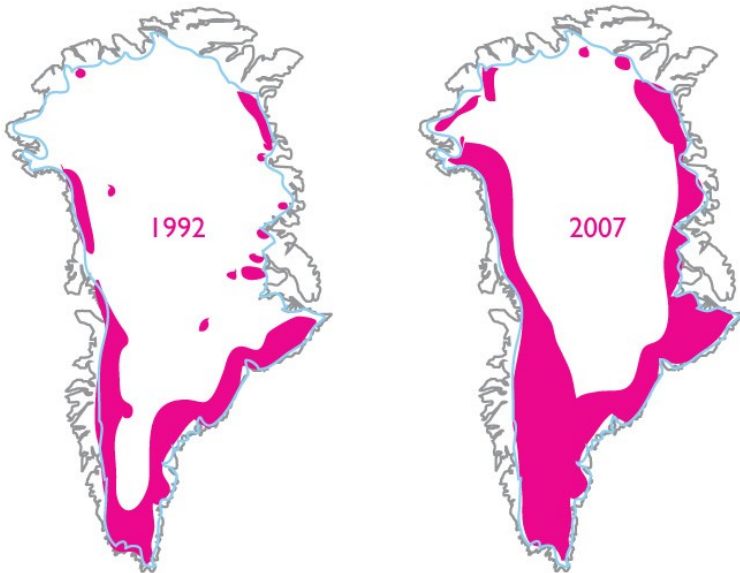


Illustrazione 5: superficie ghiacciata della Groenlandia che ha raggiunto il punto di fusione almeno un giorno in estate. (Fonte: Climate Change Conference, Copenaghen, 2009)

innalzamento del livello del mare da 4 a 6 metri. I dati provenienti dalle carote di ghiaccio indicano che le temperature medie polari in quel periodo erano comprese tra i 3°C e i 5°C in più rispetto al presente. La causa diretta principale dell'innalzamento del livello dei mari è legata all'espansione termica dell'acqua con l'aumento della temperatura, ma dal 1993 l'incremento è stato largamente influenzato dallo scioglimento dei ghiacci dell'Artico e della Groenlandia. Fin dal 1978 i dati da satellite mostrano che l'estensione annuale media dei ghiacci marini artici si è ridotta del 2,7% per decennio. Il ghiaccio marino tenderà a ridursi sia nelle zone artiche, che antartiche, per tutti gli scenari ipotizzati. In alcune proiezioni, il ghiaccio marino artico durante la tarda estate sparisce quasi completamente verso la fine del XXI secolo: ciò significa che alla fine di questo secolo il Polo Nord potrebbe scomparire. Il bilancio fra incremento e perdita di massa della superficie ghiacciata diventerebbe negativo (ossia la massa di ghiaccio andrebbe a diminuire) nel caso di un riscaldamento medio globale superiore a 1.9°C÷4.6°C. Innalzamenti molto elevati del livello del mare, prossimi a più di 1 metro a fine secolo, potrebbero scaturire da un vasto scioglimento dei ghiacci della Groenlandia e dell'Antartide Occidentale, implicando cambiamenti notevoli nelle linee di costa e negli ecosistemi, e inondazioni di aree basse, con gli effetti maggiori nei delta dei fiumi.

Prove osservative provenienti da tutti i continenti e dalla maggior parte degli oceani mostrano che molti sistemi naturali stanno già risentendo dei cambiamenti climatici regionali, in particolare degli aumenti della temperatura. È possibile misurare a oggi un incremento della temperatura media del pianeta di circa 0,7°C, rispetto a valori preindustriali, che sta già incidendo sulla salute di molte società del pianeta. Per aumenti della temperatura media globale maggiori di 1.5°C-2.5 °C e concomitanti aumenti delle concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica, le proiezioni indicano notevoli cambiamenti nella struttura e nella funzione degli ecosistemi, nelle interazioni ecologiche fra le specie, e nella loro distribuzione geografica, con conseguenze negative sulla biodiversità e sui beni e servizi forniti dagli ecosistemi, come le forniture di acqua e cibo.

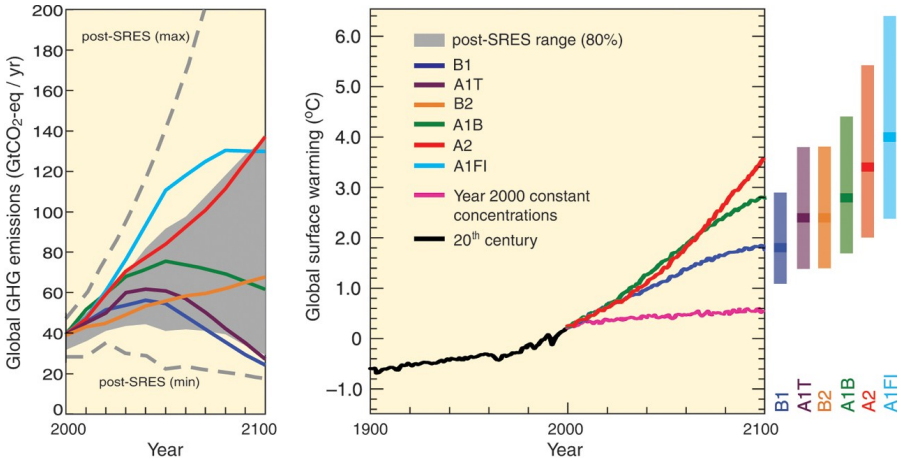


Grafico 2: modelli climatici valutati per l'emissione globale di GHG e il riscaldamento superficiale.

Anche se le concentrazioni di gas serra venissero stabilizzate, il riscaldamento antropogenico e l'innalzamento del livello del mare continuerebbero per secoli a causa delle scale temporali associate ai processi climatici e ai feedback. L'IPCC sostiene che un incremento di circa 1,4°C rispetto alla temperatura pre-industriale, sia inevitabile. Gli esperimenti modellistici condotti dall'IPCC mostrano che, se anche tutte le cause del forzante radiativo fossero mantenute costanti ai livelli dell'anno 2000, nei prossimi due decenni si verificherebbe un ulteriore trend di riscaldamento di circa 0,1°C per decennio. Se le emissioni risultassero entro il range degli scenari analizzati, ci si dovrebbe aspettare un riscaldamento circa doppio (0,2 °C per decennio). Continuare a emettere gas serra a un tasso uguale o superiore a quello attuale, causerebbe un ulteriore riscaldamento e provocherebbe molti cambiamenti nel sistema climatico globale durante il XXI secolo. Gli scenari (senza mitigazione) prospettano un aumento della baseline delle emissioni globali di GHG in un intervallo che va da 25% al 90% tra il 2000 e il 2030. In questi scenari, si prospetta che i combustibili fossili mantengano la loro posizione dominante nel mix energetico globale fino al 2030 e oltre. Di conseguenza le proiezioni delle emissioni di CO₂ dall'uso di energia, indicano un aumento dal 45% al 110% tra il 2000 e il 2030.

Secondo queste proiezioni, dai due terzi ai tre quarti di questo aumento di proverrà da regioni in via di sviluppo, con una media di emissioni di CO₂ da energia pro-capite che rimarrà sostanzialmente più bassa di quella delle regioni industrializzate al 2030. Le proiezioni per il futuro indicano un aumento di temperatura globale da 1,8°C a 4,0 °C nel periodo 2090-2099 rispetto al periodo 1980-1999. Sulla base di queste previsioni, si profilano diversi scenari a seconda dell'incremento della temperatura media globale:

+1,5°C

- effetti rilevanti sulla produzione alimentare, sul rifornimento idrico e sugli ecosistemi dell'Africa sub-sahariana e sugli Stati insulari;
- aumento delle alluvioni nei delta fluviali causati dalla combinazione dell'innalzamento dei mari e delle alluvioni dai fiumi;
- con un aumento tra 1,5 e 2°C si stima che fino ad altre 3 milioni di persone sarebbero a rischio di inondazione lungo le coste. L'accesso all'acqua potabile sarebbe un problema per 0,4-1,7 miliardi di persone.

+2°C

- possibile scongelamento, parziale ma irreversibile, dei ghiacci della Groenlandia e della calotta Antartica occidentale: potrebbe causare l'innalzamento del mare di alcuni metri;
- perdita del 20%/80% della foresta pluviale amazzonica e delle sue specie: da "deposito" l'Amazzonia si trasformerebbe in un "produttore" di CO₂;
- diminuzione significativa della produzione di grano in India e di riso in Cina e, in genere, riduzione generalizzata dei raccolti anche a causa delle alluvioni lungo la costa, con un impatto grave su centinaia di milioni di persone;
- un riscaldamento di 2-3°C potrebbe portare all'estinzione del 30% delle specie animali e vegetali note.

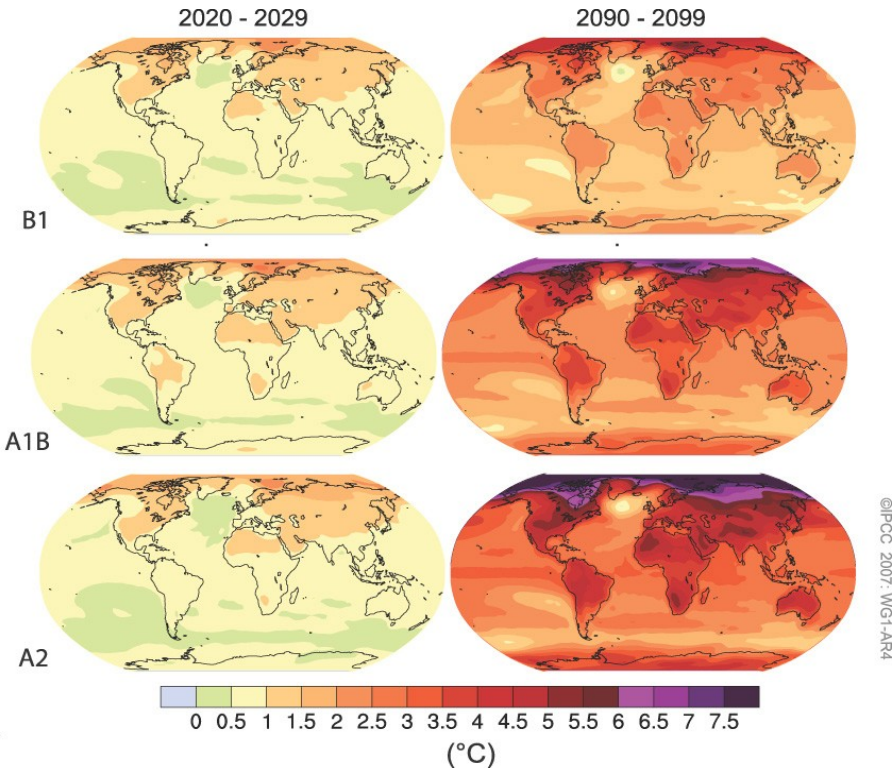


Illustrazione 6: proiezioni delle variazioni di temperatura superficiale per l'inizio e la fine del XXI secolo rispetto al periodo 1980-1999, di più scenari possibili (B1, A1B, A2).

+3°C

- ci potrebbe essere un aumento del 20% nella mortalità collegata al caldo in alcuni Paesi dell'UE dove si registrerebbe un aumento tra sei e otto volte del numero di giorni particolarmente caldi;
- gli impatti negativi sulla produzione agricola potrebbero portare alla fame 550 milioni di persone, con fino a 1,3 miliardi di persone in stato di malnutrizione; si potrebbe verificare lo scioglimento quasi totale delle calotte in Groenlandia e nell'Antartide occidentale, oltre al superamento di molti altri "punti di non ritorno".

In particolare per quanto riguarda l'Europa per la prima volta sono stati documentati impatti largamente diffusi dei cambiamenti climatici: il ritiro dei ghiacciai, l'allungamento delle stagioni di crescita, lo spostamento degli habitat delle specie e gli impatti sulla salute dovuti a un'ondata di calore senza precedenti. L'aumento della temperatura in Europa al 2008, è stato circa 1,0°C per il sistema terra-oceano, e 1,3°C sulla terraferma, maggiore quindi di quello globale²⁴. Le proiezioni indicano un aumento della temperatura media per la fine di questo secolo tra 1,0°C e 5,5°C. Nel Nord Europa il riscaldamento maggiore è previsto durante la stagione invernale, mentre nelle regioni del Mediterraneo soprattutto in estate. Ci si aspetta che quasi tutte le regioni Europee saranno colpite negativamente da alcuni impatti futuri dei cambiamenti climatici, e ciò comporterà delle sfide per molti settori dell'economia. I cambiamenti climatici faranno aumentare le differenze regionali nelle risorse naturali e negli assetti dell'Europa. Gli impatti negativi includeranno un rischio maggiore di alluvioni nelle zone continentali, una maggiore frequenza delle inondazioni e una maggiore erosione nelle aree costiere (a causa delle tempeste e dell'innalzamento del livello del mare). Tra il 1850 e la fine degli anni Settanta, i ghiacciai alpini hanno perso un terzo della loro superficie e metà del loro volume. Dal 1985 si è osservata un'accelerazione del fenomeno, che ha portato fino al 2000 a una perdita del 25% del ghiaccio rimanente. Durante la stagione rovente del 2003 si è registrata un'ulteriore riduzione del 5-10%, con una perdita pari a circa due terzi della massa glaciale del 1850. L'arretramento centennale dei ghiacciai europei è attribuito soprattutto all'aumento delle temperature estive. Le zone montuose andranno incontro al ritiro dei ghiacciai, alla riduzione della copertura nevosa e del turismo invernale, e a perdite estese delle specie.

La grande maggioranza degli organismi e degli ecosistemi avrà difficoltà a adattarsi ai cambiamenti climatici, a causa della loro rapidità. Secondo le proiezioni, nell'Europa meridionale, e quindi anche in Italia, i cambiamenti climatici potrebbero causare un peggioramento delle condizioni (alte temperature e siccità), in una zona già

24 Fonte: Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA).

vulnerabile alla variabilità climatica, e una riduzione della disponibilità di acqua, fino a -20% delle precipitazioni, del potenziale di produzione dell'energia idroelettrica, del turismo estivo, e in generale, della produttività dei raccolti. Vi potrebbe essere un incremento dei rischi per la salute dovuti alle ondate di calore, e della frequenza degli incendi. In Europa, come mostra l'ultimo rapporto dell'EEA, molti sistemi naturali, così come numerosi settori socio-economici, hanno già subito le conseguenze dei cambiamenti climatici, quali in particolare l'agricoltura, la pesca, il turismo, l'energia, la salute, ma anche i servizi finanziari e le compagnie di assicurazioni.

Lo sviluppo sostenibile può ridurre la vulnerabilità ai cambiamenti climatici attraverso il miglioramento della capacità di adattamento e l'aumento della resistenza. Varie politiche, incluse quelle sui cambiamenti climatici, sulla sicurezza dell'approvvigionamento energetico, e sullo sviluppo sostenibile, sono state efficaci nel ridurre le emissioni di GHG in diversi settori e in diversi paesi. Per quanto riguarda il tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici già in atto, la Commissione Europea ha presentato nell'aprile 2009 il Libro bianco: «L'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo», con l'obiettivo di rendere l'UE meno vulnerabile agli impatti del surriscaldamento globale. Tuttavia, il rapporto dell'IPCC non lascia dubbi: con le attuali politiche di mitigazione dei cambiamenti climatici e le relative pratiche di sviluppo sostenibile, le emissioni globali di GHG continueranno a crescere durante i prossimi decenni. L'effetto sulle emissioni globali della diminuzione dell'intensità energetica globale (-33%), ossia un aumento dell'efficienza, durante il periodo 1970-2004, è stato minore dell'effetto combinato della crescita del reddito pro-capite globale (77%) e della crescita della popolazione globale (69%), entrambi fattori determinanti l'aumento delle emissioni di CO₂ relative all'energia. L'impatto di queste misure quindi, non è ancora stato abbastanza ampio da controbilanciare la crescita globale delle emissioni.

Le società e gli ecosistemi sono molto vulnerabili persino per modesti cambiamenti nel clima. Non è possibile stabilire con certezza quale sia, ma superato un certo aumento di temperatura globale, definito come "punto di non ritorno", i

cambiamenti non saranno più lineari e reversibili, ma improvvisi, vasti e potenzialmente irreversibili in un orizzonte temporale rilevante per la società contemporanea. L'innalzamento della temperatura oltre i 2°C, considerati come la soglia limite, sarà difficile da affrontare per le società, e molto probabilmente sarà la causa maggiore di disastri sociali e ambientali del nostro secolo e oltre. Limitare l'aumento della temperatura globale al massimo a +2°C, comunque non garantisce l'assenza di impatti significativi, sebbene oltre a questo limite è molto probabile che le possibilità di adattamento da parte delle società e dell'ambiente abbiano un rapido declino, con l'aumento del rischio di problemi sociali e sulla salute, sulla disponibilità di acqua e di cibo. Restare al di sotto dei +2°C consentirebbe di limitare la portata della diminuzione della biodiversità, evitando la completa estinzione di molte specie viventi.

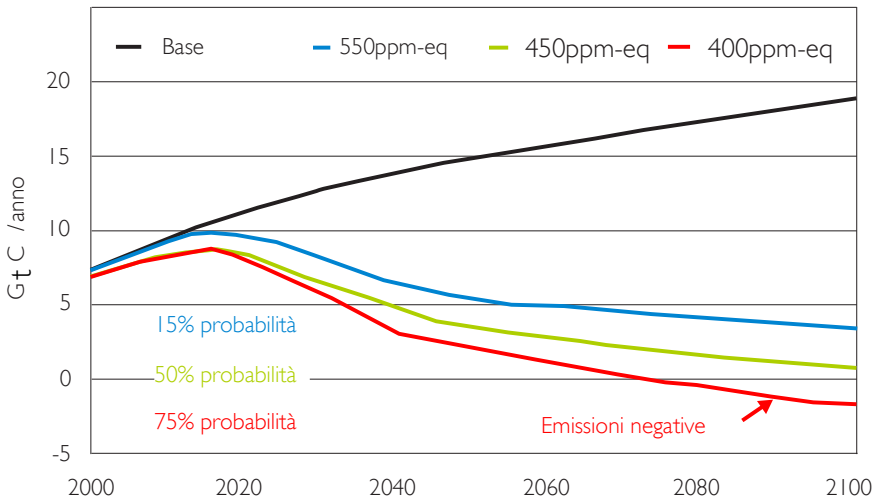


Grafico 3: emissioni di CO₂ dal 2000 al 2100 per 3 differenti probabilità di raggiungere i +2°C.

(Fonte: Climate Change: Global Risks, Challenges & Decisions – Synthesis Report)

Dalle analisi dell'IPCC la concentrazione in atmosfera di CO₂ non dovrebbe superare le 400 ppm per mantenere la temperatura intorno ai +2°C (vedi tabella a pagina

57). A oggi siamo a un livello di 385 ppm, con un incremento annuale previsto pari a 2 ppm all'anno. Secondo quanto detto avremmo meno di una decade per arrivare al picco delle nostre emissioni, e per ridurle, immediatamente dopo, di almeno il 60%-80%. Ovviamente tutto ciò è impossibile. Il superamento delle emissioni limite per ottenere contrastare il riscaldamento globale a "soli" +2°C è inevitabile. Tuttavia è necessario limitarne il superamento, arrivando al più presto al picco di emissioni, in quanto con una concentrazione di 450 ppm di CO₂, ci sarebbero buone possibilità (50%) di rispettare questo obiettivo.

Tutto ciò suggerisce il valore di un insieme di strategie che includa la mitigazione, l'adattamento, lo sviluppo tecnologico (per migliorare sia l'adattamento che la mitigazione) e la ricerca (sulla scienza del clima, gli impatti, l'adattamento e la mitigazione) da mettere in campo il prima possibile. Il rapporto sottolinea come spesso sia più conveniente investire nel miglioramento dell'efficienza energetica negli usi finali piuttosto che nell'aumento della produzione di energia per soddisfare la domanda di servizi energetici. Il miglioramento dell'efficienza ha un effetto positivo sulla sicurezza dell'approvvigionamento energetico, sull'abbattimento dell'inquinamento dell'aria a livello regionale e locale, e sull'occupazione. Le energie rinnovabili generalmente hanno un effetto positivo sulla sicurezza dell'approvvigionamento energetico, sull'occupazione e sulla qualità dell'aria. Dati i costi relativi a altre opzioni di forniture energetiche, l'energia elettrica da fonte rinnovabili, che costituiva circa il 18% delle forniture di elettricità nel 2005, può raggiungere una quota del 30-35% del totale dell'elettricità prodotta nel 2030. Tale serie di strategie si potrebbe combinare con politiche basate su incentivi e azioni a tutti i livelli, dal singolo cittadino ai governi nazionali, e alle organizzazioni internazionali, che promuovono lo sviluppo socio-economico e l'equità in tutto il mondo. I cambiamenti negli stili di vita e nei tipi di consumo, specialmente nel settore residenziale e in quello dei trasporti, che puntano sulla conservazione delle risorse, possono contribuire allo sviluppo di un'economia a basse emissioni di carbonio che sia equa e sostenibile. La variabile tempo è molto importante, in quanto è

dimostrato, che anche in presenza di un meccanismo di adattamento efficace, aumenti da +1°C a +1,5°C possono portare a impatti critici sulle risorse idriche in molte parti del mondo. L'unica azione imperdonabile è l'inazione.

Aumento della temperatura globale	Concentrazione di CO ₂ (385 nel 2009)	Concentrazione di CO ₂ -eq (396 nel 2009)	Anno di picco per le emissioni di CO ₂	Cambiamenti delle emissioni globali di CO ₂ nel 2050
°C	ppm	ppm	anno	%
2,0-2,4	350-400	445-490	2000-2015	-85 ÷ -50
2,4-2,8	400-440	490-535	2000-2020	-60 ÷ -30
2,8-3,2	440-485	535-590	2010-2030	-30 ÷ +5
3,2-4,0	485-570	590-710	2020-2060	+10 ÷ +60
4,0-4,9	570-660	710-855	2050-2080	+25 ÷ +85
4,9-6,1	660-790	855-1130	2060-2090	+90 ÷ +140

Tabella 1: caratteristiche degli scenari di stabilizzazione.

I.3.2.1 AR4, aggiornamento

«Business-as-usual is dead»

- Climate Change: Global Risks, Challenges & Decisions -

Nel marzo del 2009 a Copenaghen, la International Alliance of Research Universities ha organizzato un congresso scientifico internazionale sui cambiamenti climatici: «Climate Change: Global Risks, Challenges and Decision». In questo incontro sono state aggiornate alcune conclusioni del IV Rapporto dell'IPCC. Da queste si evince come le emissioni di gas a effetto serra e molti altri aspetti del clima stanno arrivando a livelli congruenti alle peggiori previsioni di cambiamento formulate dal gruppo di esperti dell'IPCC. Tutto questo dimostra che le osservazioni scientifiche devono cercare di spiegare il surriscaldamento globale, al di là della sola temperatura atmosferica, considerando anche il comportamento degli oceani. Il cambiamento di temperatura di queste immense masse d'acqua è senza dubbio il miglior indicatore

sul cambiamento del clima, rispetto alla variazione della temperatura dell'aria. Le stime aggiornate al 2008 indicano un significativo riscaldamento nel corso degli ultimi anni, il doppio rispetto a quanto indicato dall'ultima analisi dell'IPCC. Inoltre un'altra drammatica variazione negli scenari del Report IPCC riguarda la riduzione del ghiaccio marino dell'Artico durante l'estate. Nel 2007 l'area coperta è diminuita di circa 2 milioni di km² rispetto all'anno precedente. Insomma la realtà è peggiore di quella prevista, e richiede interventi ancor più stringenti, e più immediati, di quanto si pensasse.

1.3.2.2 Italia

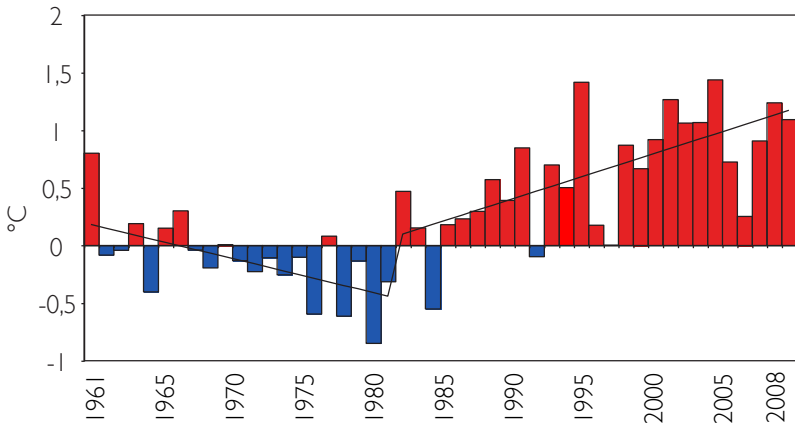


Grafico 4: anomalie della temperatura media in Italia. (Fonte: ISPRA)

Anche in Italia, come in Europa, è possibile osservare i risultati di un cambiamento climatico già in atto. Le temperature medie annuali sono cresciute negli ultimi due secoli di 1,7°C (pari a oltre 0,8°C per secolo), ma il contributo più rilevante a questo aumento è avvenuto negli ultimi 50 anni, con circa +1,4°C, superiore a quello medio globale. Il 2008 è stato il 17° anno consecutivo con anomalia positiva, e il suo valore è il 5° a partire dal 1961. L'analisi degli estremi di temperatura mostra un aumento medio del 12% dei giorni estivi (con T > 25°C) e del 42% delle notti tropicali (con T

> 20°C). Inoltre la serie delle precipitazioni del Nord Italia indica una diminuzione rispetto alla media di 1,47 mm/anno dal 1961 al 2006. Alcuni degli effetti dei cambiamenti climatici, osservati a livello globale e europeo, sono già apprezzabili anche in Italia: erosione delle coste, desertificazione, fusione dei ghiacciai, scarsità idrica, dissesto idrogeologico e rischi per la salute, sono alcuni esempi.

In Italia l'ambiente alpino viene considerato tra i più vulnerabili. Dalla seconda metà del XIX secolo i ghiacciai italiani stanno subendo, infatti, una fase di accentuata contrazione che ha portato alla perdita del 40% della loro superficie, con un arretramento della linea di innevamento. Gli effetti di tali variazioni riguarderanno in particolar modo, e sempre più in futuro, la stabilità idrogeologica, la biodiversità e i settori economici dipendenti dall'acqua quali, in particolare, il turismo, l'energia e l'agricoltura. Lo scioglimento dei ghiacciai minaccia, a medio e lungo termine, un'importante risorsa di energia rinnovabile, come il settore idroelettrico.

1.3.3 Protocollo Kyoto

L'IPCC auspica un dimezzamento nelle riduzioni delle emissioni globali entro la metà del XXI secolo. Questo implica una riduzione del 60-80% nelle emissioni dei paesi sviluppati. Anche i paesi in via di sviluppo con emissioni elevate, come la Cina, l'India e il Brasile, dovranno limitare la crescita delle loro emissioni. Le differenze fra i Paesi in termini di reddito pro-capite, emissioni pro-capite e intensità di energia rimangono significative. Nel 2004 i Paesi industrializzati della UNFCCC costituivano il 20% della popolazione mondiale, producevano il 57% del Prodotto Interno Lordo (PIL) mondiale, e erano responsabili del 46% delle emissioni globali di GHG. Come ricordato a pagina 38, durante la 3^a Conferenza delle Parti firmatarie della Convenzione sul Clima, che si concluse l'11 dicembre 1997 a Kyoto (Giappone), venne adottato un piano di riduzione delle emissioni di 6 gas climalteranti²⁵, «al fine di ridurre il totale delle emissioni di tali gas almeno del 5% rispetto ai livelli del 1990,

²⁵ Anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄), protossido di azoto (N₂O), idrofluorocarburi (HFC), perfluorocarburi (PFC) e esafluoruro di zolfo (SF₆).

nel periodo di adempimento 2008-2012»²⁶: il Protocollo di Kyoto. La principale differenza fra il Protocollo e la Convenzione sul Clima da cui è nato, è che mentre quest'ultima incoraggia le nazioni industrializzate a stabilizzare le emissioni di gas a effetto serra, il Protocollo li vincola a farlo. Come previsto dall'accordo (articolo 25, comma 1), il Protocollo entrò in vigore 90 giorni dopo essere stato ratificato da più di 55²⁷ Stati "industrializzati", responsabili almeno del 55% delle emissioni totali al 1990, e questo avvenne il 16 febbraio 2005. Riconoscendo che le nazioni sviluppate sono le principali responsabili per gli altri livelli di emissione di gas a effetto serra nell'atmosfera, risultato di più di 150 anni di attività industriale, il Protocollo pone un onere maggiore a questi Stati, secondo il principio di responsabilità comuni ma differenziate. Per i Paesi dell'Unione Europea nel loro insieme, la riduzione deve essere dell'8%, per gli Stati Uniti la riduzione deve essere del 7% e per il Giappone del 6%. Nessuna riduzione, ma solo stabilizzazione è prevista per la Federazione Russa, la Nuova Zelanda e l'Ucraina. Possono, invece, aumentare le loro emissioni fino all'1% la Norvegia, fino all'8% l'Australia e fino al 10% l'Islanda. Nessun tipo di limitazione alle emissioni di gas-serra viene previsto per i Paesi in via di sviluppo. Per il conseguimento dei propri obiettivi, i Paesi industrializzati e a economia in transizione agiranno prevalentemente attraverso politiche e misure adeguate a livello nazionale. Inoltre essi possono "contabilizzare" come riduzione delle emissioni, secondo le decisioni negoziali assunte durante la settima COP sul Clima a Marrakesh, il carbonio assorbito dalle nuove piantagioni forestali e dalle attività agroforestali (carbon sink), e utilizzare in maniera sostanziale i meccanismi flessibili previsti:

- scambio (compravendita) di crediti di emissione fra i Paesi (Emissions Trading);
- meccanismo per lo sviluppo pulito dei Paesi in via di sviluppo (Clean

²⁶ Protocollo di Kyoto, articolo 3, comma 1.

²⁷ Attualmente le Parti inserite nel Protocollo di Kyoto sono 192. La percentuale degli Stati rispetto a quelli facenti parte dell'Allegato I è pari a il 63.7%. (Fonte: <http://unfccc.int/2860.php>). Gli Stati Uniti d'America rimangono il grande assente, in quanto, dopo un primo periodo di contrattazione, non sottoscrissero l'accordo, sostenendo che questo fosse troppo penalizzante per l'economia americana.

Development Mechanism);

- iniziative congiunte con gli altri Paesi industrializzati (Joint Implementation).

Il Protocollo inoltre, come la Convenzione, è stato pensato per assistere le Nazioni nell'adattamento contro gli effetti dei cambiamenti climatici, aiutando lo sviluppo e l'adozione di tecnologie che possano migliorare la resilienza all'impatto del cambiamento del clima. Il Fondo per l'Adattamento è stato creato per finanziare progetti e programmi nelle nazioni in via di sviluppo che sono Parti del Protocollo. Questo fondo è finanziato principalmente con una quota dei proventi dalle attività di Meccanismo di Sviluppo Pulito. Questi nuovi meccanismi istituzionali possono fornire le basi per futuri sforzi di mitigazione a livello internazionale.

I.4 Oggi

I.4.1 Consumi globali

« -1.1%, The largest decline since 1980. »

- BP Statistical Review of World Energy, June 2010 -

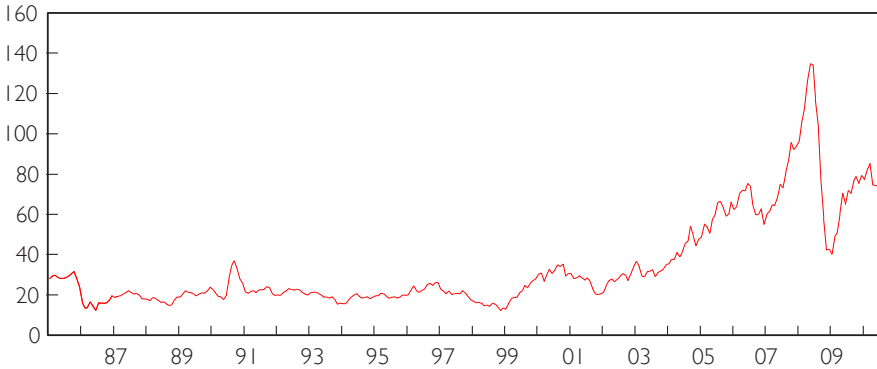


Grafico 5: andamento del prezzo del petrolio (WTI) dal 1985 al 2010 (USD al barile). (Fonte: IEA)

La situazione economico-finanziaria globale, considerata nei report e negli accordi internazionali, nel 2008 ha subito un'inaspettata (o forse prevedibile) picchiata. L'impatto della crisi del credito sulla crescita economica mondiale, nonché l'aumento e il successivo crollo dei prezzi dell'energia, influenzano l'aggiornamento degli scenari per la pressione a medio termine dei consumi energetici e delle emissioni di gas serra. La crisi economica, iniziata nella seconda metà del 2008, sta determinando un forte rallentamento dell'economia mondiale e una fase recessiva delle economie occidentali (la peggiore dal 1929), destinati a continuare per tutto il 2009 e parte del 2010 (e forse oltre). Non starò ora a cercare delle possibili spiegazioni di questa crisi (che comunque possono essere facilmente ricondotte alla distanza esistente del sistema finanziario dall'economia reale) ma è possibile individuare tre cause principali:

la crisi finanziaria statunitense, dovuto al crollo dei mutui *subprime* a tasso variabile, la forte concorrenza delle economie asiatiche in crescita, e la sbalorditiva impennata del prezzo del petrolio, spinto da una domanda senza precedenti, che per la prima volta ha superato i 100 USD al barile (147,27 USD nel luglio del 2008, record assoluto), che si è ripercossa in quasi tutti i settori, fra cui anche quello alimentare. Previsioni dell'Agencia Internazionale dell'Ambiente indicano che nel 2030 il prezzo del petrolio possa sfiorare i 200 USD al barile.

A livello generale, la domanda mondiale di energia nel 2009, per la prima volta dal 1982²⁸, ha subito una drastica riduzione (-1,1 %). Il petrolio rimane il combustibile principale a livello mondiale (34,8% dell'energia primaria), anche se la produzione OPEC è diminuita del 7,3%, (il più grande declino dal 1983). Il carbone, in controtendenza rispetto alle altre fonti, è tornato a livelli raggiunti nel lontano 1970, confermandosi come la risorsa prevalente e in maggiore crescita, spinto dalla grande domanda Cinese. La produzione di gas ha avuto invece la prima contrazione mai registrata (- 2,1%).

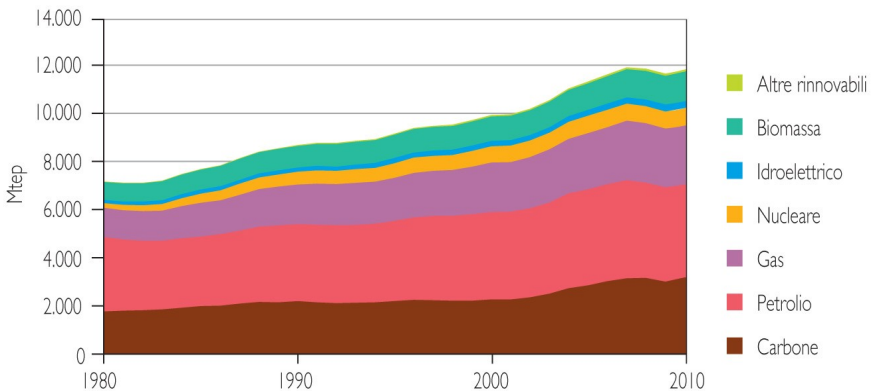


Grafico 6: domanda mondiale di energia primaria per fonte. (Fonte: IEA, WEO 2009)

Tutto ciò ha fatto sì che nel 2009, per la prima volta dal 1998 le emissioni globali di CO₂ diminuissero, da 29,381 milioni di tonnellate nel 2008, di circa 1 miliardo di

28 BP, *Statistical Review of World Energy*, 2010.

tonnellate²⁹. In un sistema in cui la crescita è l'unico obiettivo economico da perseguire con costi energetici sempre maggiori, l'abbattimento delle emissioni non si sarebbe mai potuto raggiungere in condizioni, per così dire, normali. La crisi ha determinato per tutti gli Stati firmatari di accordi a salvaguardia del clima globale, l'avvicinamento o, addirittura, il raggiungimento dell'obiettivo di riduzione delle emissioni previsto. Già nel 2008 infatti, le emissioni dei Paesi dell'Allegato I furono minori di quelle del 1990.

La crisi finanziaria mondiale e la conseguente recessione hanno avuto un grande impatto anche sulle aspettative e sulle previsioni legate ai mercati energetici. La constatazione che la crisi rende meno stringenti i vincoli legati all'uso di risorse energetiche e al loro impatto ambientale, si accompagna a interrogativi sulle azioni più opportune che dovrebbero essere intraprese per mitigarne gli effetti e avviare un processo di superamento della stessa. In questo momento di incertezza molte speranze si posero sulla COP15 di Copenaghen, ma come vedremo a pagina 83, tutto si è concluso in un nulla di fatto, posticipando la possibilità di un accordo vincolante post-kyoto alla decima conferenza delle parti, che si terrà a Cancún (Messico) dal 29 novembre al 10 dicembre.

1.4.2 UNFCCC

Abbiamo già parlato della Convenzione Quadro sul Clima (UNFCCC) a pagina 36. L'unico accordo vincolante sotto questa Convenzione rimane il Protocollo di Kyoto, che però non è stato sottoscritto dai più grandi Paesi produttori di GHG, come Stati Uniti (facenti parte dell'Allegato I, e cioè dei cosiddetti paesi industrializzati) e Cina (considerato un paese in via di sviluppo): nel 2008 queste due nazioni hanno da sole, prodotto il 41% di tutte le emissioni mondiali. Gli Stati Uniti in particolare hanno generato il 19% delle emissioni, con una popolazione che è circa il 5% di quella globale.

²⁹ IEA, *CO₂ emission from fuel combustion highlights*, 2010.

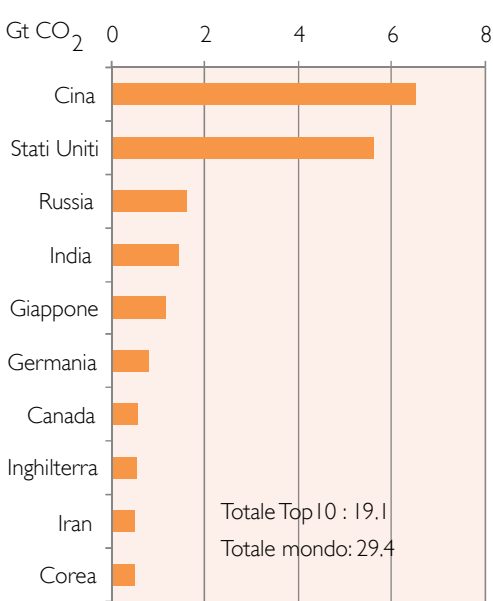


Grafico 7: top 10 delle nazioni produttrici di GHG nel 2008.
(Fonte: IEA, 2010)

Senza considerare la crisi economica degli ultimi anni, è possibile stabilire che gli accordi sul clima per limitare le emissioni di gas climalteranti a livello globale, sono decisamente falliti. Ciò dipende non tanto dalla loro applicazione, ma dall'estensione dell'accordo a quei Paesi responsabili di meno di 1/3 della produzione globale. Anche se le Parti firmatarie del Protocollo hanno raggiunto nel 2008 una riduzione del -9,2%, rispetto ai livelli del 1990, dovuta principalmente al declino dei

Paesi della sfera Sovietica, nello stesso periodo di tempo le emissioni globali sono aumentate del +40,1% (da 20,964 Gt a 29,381 Gt di CO₂). Dal 1971 al 2008 il consumo di energia primaria da fonti fossili, e conseguentemente, le emissioni di CO₂ sono più che raddoppiate.

È inoltre chiaro come da una parte, le economie occidentali stiano diminuendo l'emissione di gas climalteranti attraverso un miglioramento dell'efficienze energetica e l'uso in parte di tecnologie rinnovabili, mentre l'altra parte del mondo, i paesi in via di sviluppo, stanno aumentando esponenzialmente le loro emissioni, considerando le grandi risorse energetiche, la scarsa efficienza, e l'uso di combustibili quali il carbone, che possiede una capacità di produzione di CO₂ doppia rispetto al gas naturale, a parità di resa energetica. Il 65% delle emissioni sono legate all'uso di combustibili fossili e quindi all'energia, e è proprio da lì che è necessario partire per contrastare il trend.

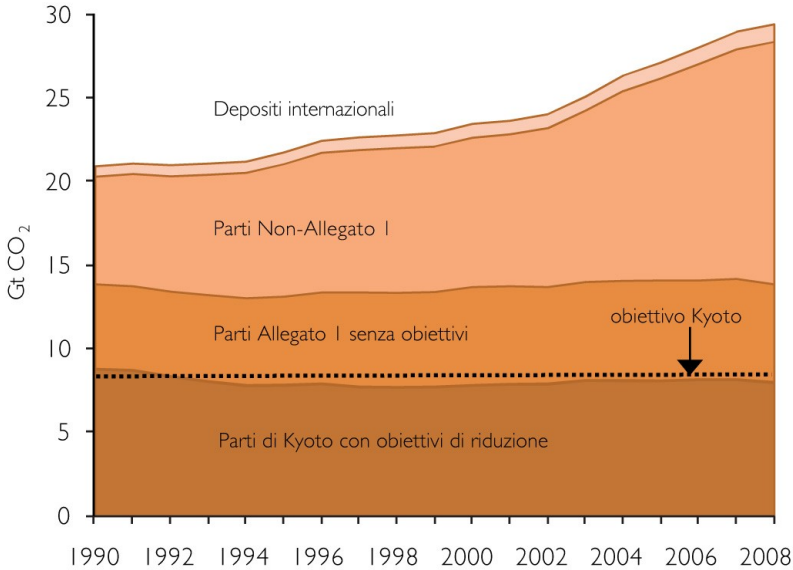


Grafico 8: andamento emissioni fra le Parti UNFCCC. (Fonte: IEA, 2010)

Un rapporto delle Nazioni Unite del 2005 raccoglie i dati di emissione di GHG dei Paesi non compresi nell'Allegato I ma firmatarie della Convenzione Quadro sul Clima. A questi in particolare non sono imputate grandi responsabilità nella produzione di gas a effetto serra e nemmeno obiettivi specifici. Tuttavia dai dati raccolti, avendo come anno di riferimento il 1994, o anni vicini, le emissioni aggregate di GHG delle 122³⁰ delle 148 Parti considerate sono stati pari a 11,7 miliardi di tonnellate di CO₂-equivalente. In quello stesso anno le emissioni dei Paesi sviluppati furono pari a 17,3 miliardi di tonnellate di CO₂-equivalente. Dati dell'Agenzia Internazionale dell'Energia mostrano come nel 2008, per la sola quota di emissioni derivanti dall'uso di combustibili, i paesi in via di sviluppo abbiano superato per la prima volta i Paesi dell'Allegato I, con 14.444,6 (+6% rispetto al 2007) Mt contro 13.903,8 Mt di CO₂ (-2% rispetto al 2007). È ormai chiaro come qualsiasi accordo,

³⁰ Queste rappresentano l'83% della regione Africana, il 77% della regione Asiatica e Pacifica, il 94% dell'America Latina e della regione Caraibica e il 70% della quota di altre regioni.

che non comprenda anche Stati Uniti³¹, e Paesi in via di sviluppo, come Cina, India e Medio Oriente, sia destinato a fallire.

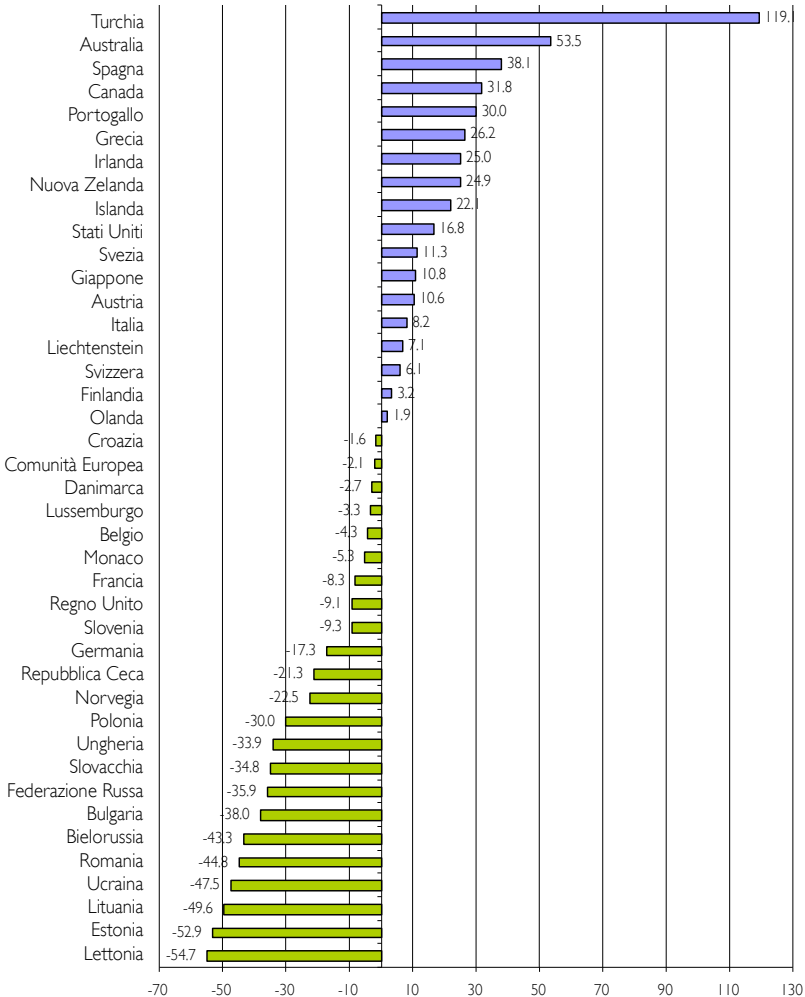


Grafico 9: variazioni nelle emissioni totali aggregate, delle singole Parti dell'Allegato I, 1990-2007.

(Fonte: UNFCCC)

31 Un'interessante novità rispetto al passato è la nuova politica climatica americana, in aperta cesura rispetto alla precedente amministrazione.

I.4.3 Unione Europea

« Da qui al 2012, dunque, il raggiungimento degli obiettivi di Kyoto per l'Europa potrebbe essere legato alla durata e all'impatto della crisi attuale in corso. »

- ENEA -

Come si poteva immaginare, anche per la Comunità Europea, la crisi economico-finanziaria esplosa nel 2008 ha inciso sui consumi di energia, principale causa dell'emissioni di gas a effetto serra. Tuttavia non si dispone a tutt'oggi di dati aggiornati a cui fare riferimento.

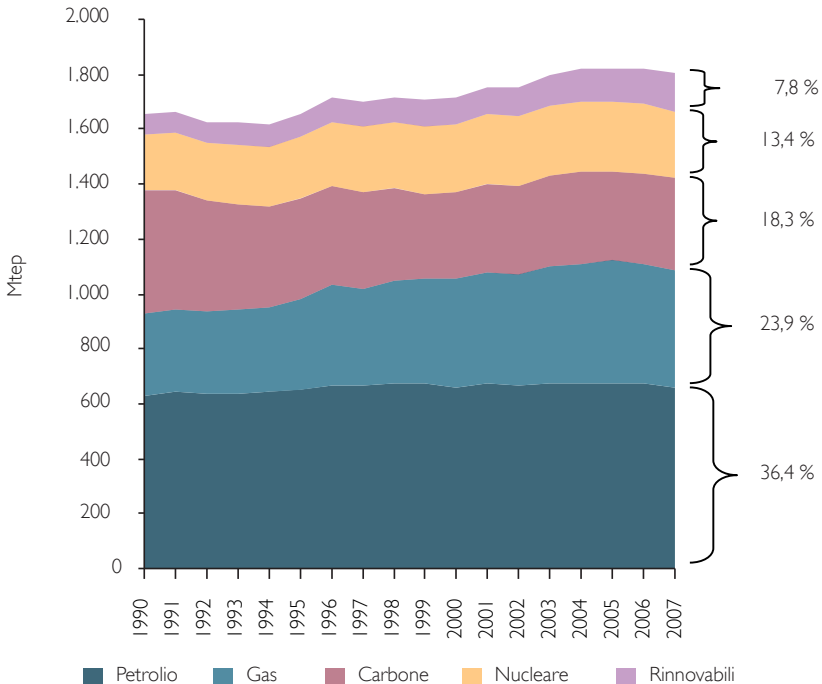


Gráfico 10: consumo di energia primaria per fonte UE(27). (Fonte: EEA)

La situazione pre-crisi vede il petrolio alla base del mix energetico europeo (36,4%), seguito da gas, carbone e nucleare (23,9%, 18,3%, 13,4%). I consumi, 1.806 Mtep nel

2007, sono in aumento con un +8,7% dal 1990 al 2007, con un calo nell'ultimo anno di -1,1%. La dipendenza energetica dell'Europa dall'esterno è elevata e potrebbe arrivare a oltre il 70% nei prossimi decenni in assenza di politiche di contrasto a questo trend. Analisi UE indicano come, in tutti gli scenari da qui al 2050, l'efficienza energetica risulti essere la risorsa più importante, non solo ai fini della riduzione delle emissioni, ma anche per il contenimento della domanda di combustibili fossili e il raggiungimento di una maggiore sicurezza energetica. Inoltre interventi di questo tipo possono garantire costi netti negativi sul breve-medio termine, diventando appetibili da un punto di vista finanziario. Per esempio, si stima che l'efficienza nel settore residenziale e quello dei servizi possa contribuire per una quota di circa il 16% agli obiettivi globali di mitigazione. Il settore industriale rimane quello con la forbice di risparmio più ridotta, anche se settori quali quelli del cemento, acciaio, industria chimica, incidono per il 75% sui consumi finali e sulle emissioni industriali. Anche il settore del trasporto su gomma rimane uno dei punti focali su cui intervenire per ridurre ulteriormente le emissioni.

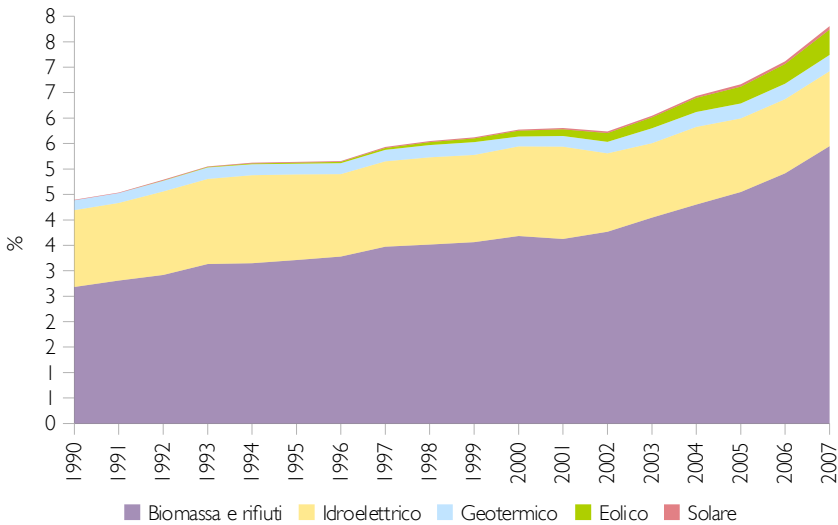


Grafico 11: contributo delle fonti di energia rinnovabile al consumo di energia primaria. (Fonte: EEA)

Nel 2007 la produzione di energia primaria da fonte rinnovabili copre il 7,8% del consumo interno lordo nell'UE(27)³², crescendo rispetto al 4,4% del 1990. Il maggior incremento arrivato dal settore eolico (più di 13.000%) e dall'energia solare (+800%). In termini assoluti, la biomassa incide per il 79,2% dell'incremento, mentre l'eolico per il 13,1%. A causa dell'aumento dei consumi fra il 1990 e il 2007, i benefici ambientali (come la riduzione delle emissioni di gas serra e di inquinanti), ottenuta grazie a un aumento della quota di energie rinnovabili sono andati perduti. Nella produzione elettrica da fonte rinnovabili (15,6% nel 2007) la crescita maggiore viene registrata sull'eolico, mentre è italiano il primato della produzione da fonte geotermica.

Per quanto riguarda le emissioni di gas climalteranti³³, l'Unione Europea (UE 15) si è impegnata, sottoscrivendo il Protocollo di Kyoto, a ridurre le proprie emissioni rispetto all'anno di riferimento (con un valore di emissioni pari a 4.265,5 Mt di CO₂-equivalente) dell'8% (pari a circa -341 Mt di CO₂-equivalente), nel periodo 2008-2012. Successivamente sono stati assegnati agli Stati Membri delle quote di riduzione specifiche. Le emissioni europee di gas a effetto serra, precedenti alla crisi, mostrano un trend in calo da 4 anni consecutivi, arrivando nel 2008 a toccare il minimo storico dal 1990. Secondo la EEA, la riduzione delle emissioni nel 2008 può essere spiegata in linea di massima da una combinazione di fattori:

- un aumento dei prezzi del carbone e del carbonio associato a una caduta dei prezzi del gas naturale, che hanno indotto i produttori di energia a rimpiazzare i primi con il secondo, meno inquinante;
- un aumento dell'uso di biomassa e di altre fonti di energia rinnovabili;
- la recessione economica iniziata nella seconda parte dell'anno, che ha colpito il settore manifatturiero, delle costruzioni e dei trasporti su strada;

32 Con la sigla UE(27) si fa riferimento ai Paesi membri dopo il 2004, anno in cui l'Unione Europea si è allargata accogliendo 10 nuovi Stati: Slovenia, Ungheria, Malta, Repubblica Ceca, Slovacchia, Polonia, Lituania, Lettonia, Estonia e Cipro. Bulgaria e Romania sono entrate a far parte dell'UE nel 2007.

33 Ogni cittadino europeo emette un media di 10,2 t CO₂-equivalente ogni anno. Alla metà degli anni '90 l'emissione pro capite dei paesi in via di sviluppo era di 2,8 tonnellate all'anno.

- l'elevato prezzo del petrolio.

Le cause che spingono invece verso un incremento dei valori di emissione sono l'aumento dei consumi di elettrici e di calore, attività industriali, volumi dei trasporti e della quota principale del trasporto su gomma rispetto a altri modelli. I trasporti rimangono comunque il settore più problematico, con un aumento delle emissioni di +26% dal 1990 al 2007, dovuto alla crescita della domanda di trasporto di persone e merci e la preferenza di trasporti su gomma.

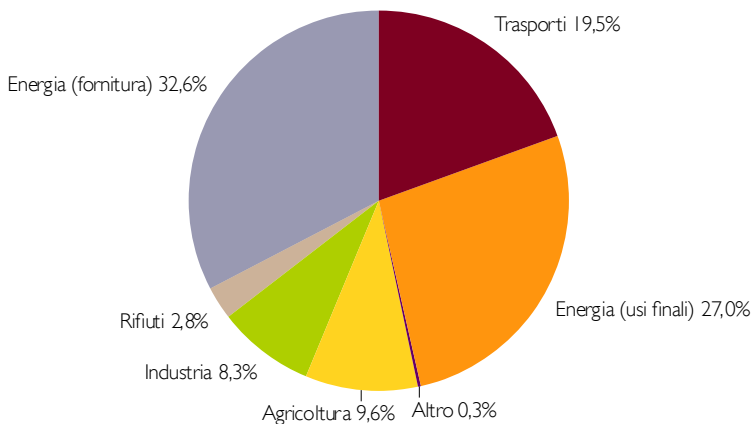


Grafico 12: emissioni di CO₂-equivalente per settore, UE(27), 2008. (Fonte: UNFCCC)

La ripartizione delle emissioni per settori di origine evidenzia un'evoluzione simile a quella già vista per altri paesi dell'Allegato I, ma più accentuata. Il settore più importante rimane quello energetico (cioè di emissioni derivate dalla combustione e da perdite negli impianti) che si attesta sull'80% delle emissioni totali. Rispetto al passato questo settore rimane stazionario, aumenta quello dei trasporti (legato al consumo di derivati del petrolio), mentre si riduce leggermente il settore residenziale e terziario, e si contrae significativamente quello dell'industria manifatturiera e delle costruzioni. In ogni caso si registra una diminuzione delle emissioni in tutti i settori, tranne quello dei trasporti e della produzione di calore e elettricità.

La riduzione delle emissioni che avvenne in Germania (uno dei più grandi emettitori, che insieme al Regno Unito raggiungono 1/3 delle emissioni totali) nei primi anni '90, rappresenta una parte significativa di quella rilevata a livello europeo. Altre importanti riduzioni avvennero in Francia e in Inghilterra durante quel periodo, in particolare nelle industrie energetiche e manifatturiere. In Gran Bretagna la riduzione fu dovuta al passaggio dai combustibili solidi a quelli gassosi. Fra il 1996 e il 1999 ci furono altri abbattimenti delle emissioni dovuti alle industrie chimiche. Questo trend generale fu in parte fermato dall'aumento delle emissioni degli Stati Membri meridionali, in particolare in Spagna e Portogallo, e in minor misura, in Italia. Fra il 1999 e il 2004 le emissioni aumentarono, principalmente a causa dell'aumento dei consumi degli utenti finali. Dal 2004 la domanda di energia nel settore civile si è ridotta, facendo decrescere le emissioni totali.

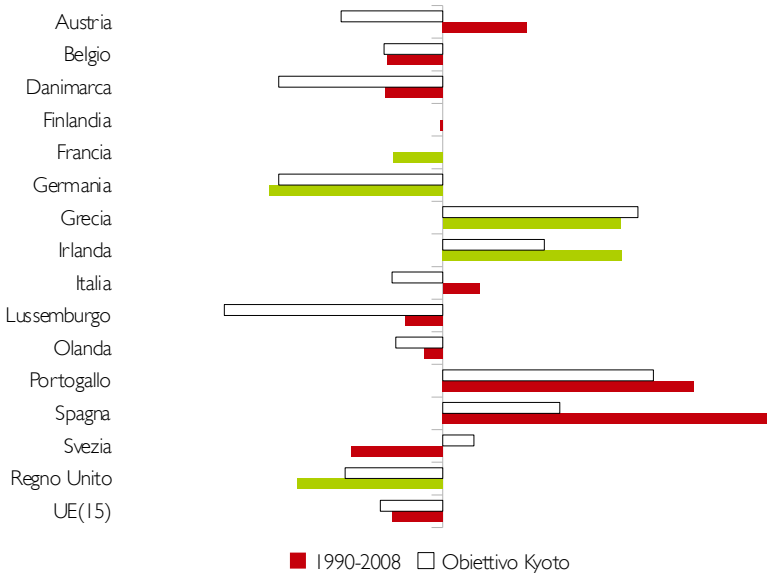


Grafico 13: confronto fra obiettivo di riduzione e emissione(2008) fra gli Stati Membri UE(15).

(Fonte: EEA 2010)

I dati³⁴ di emissioni di gas climalteranti, aggiornati al 2008³⁵, nell'UE(15), sono del 6,5% (274,2 milioni di tonnellate di CO₂-equivalente) inferiori al livello dell'anno di riferimento (convenzionalmente il 1990), con una diminuzione del 1,8% fra il 2007 e il 2008. L'Unione Europea sta facendo quindi buoni progressi verso il raggiungimento dell'obiettivo Kyoto, e già 6 Stati Membri hanno emissioni minori rispetto a quelle prefissate (Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Svezia, Regno Unito). Altri, come Danimarca, Italia, Spagna, prevedevano di rispettare gli impegni presi solo a patto di intervenire nei settore non soggetti allo scambio di emissioni. Questi riguardano la performance energetica degli edifici e i trasporti. Non potendo essere sufficiente da solo, il successo di queste operazioni determinerà la portata di politiche e misure supplementari, come il ricorrere ai meccanismi di flessibilità di Kyoto (CMD e JI), con l'acquisto di certificati di riduzione delle emissioni da paesi non-Allegato I o dalle economie in transizione. La CO₂ rimane il gas a effetto serra più importante, arrivando a coprire l'83,6% di tutte le emissioni dell'UE(15) nel 2008, che tuttavia ha subito una riduzione al 2008 rispetto all'anno di base di solo 1,3%.

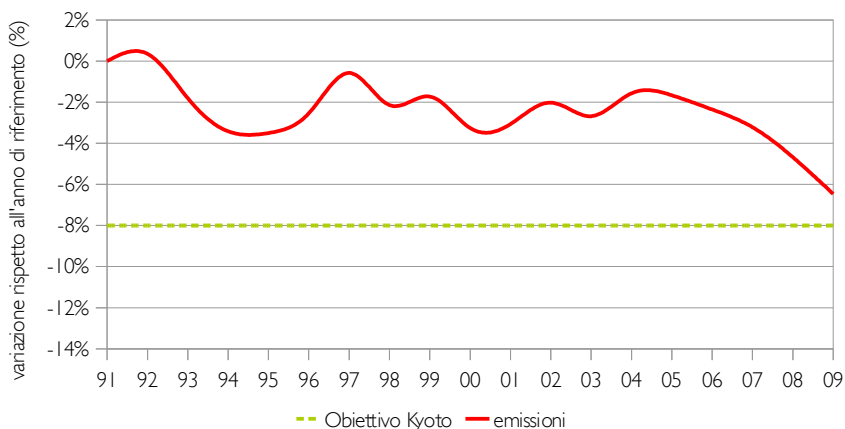


Grafico 14: andamento emissioni di gas serra, UE(15). (Fonte: UNFCCC)

³⁴ EEA, *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2008 and inventory report 2010*, 2010.

³⁵ Gli inventari nazionali di gas a effetto serra per i Membri UE sotto la Convenzione sul Clima (UNFCCC) e il Protocollo di Kyoto sono disponibili con un anno e mezzo di ritardo.

Differente appare la situazione se si considerano l'insieme dei paesi EU(27), che peraltro non hanno obiettivi comuni sotto il Protocollo di Kyoto, in quanto le emissioni totali di gas serra, sono diminuite di circa l'11% rispetto all'anno di riferimento. Ciò è in gran parte dovuto alla crisi economica e al processo di ristrutturazione produttiva avvenuti nello scorso decennio nei Paesi dell'Est europeo, aggregatisi all'Unione negli ultimi anni. Industrie manifatturiere inquinanti e a alto assorbimento di energia furono chiuse e molte innovazioni nell'efficienza dei impianti produttori di elettricità e calore furono apportate. Importanti riduzioni nelle emissioni sono avvenute in questi anni anche in Bulgaria, Repubblica Ceca, Polonia e Romania. Fra i Paesi candidati a far parte dell'UE(27) la Turchia ha, dal 1990, raddoppiato le sue emissioni.

1.5 Domani

1.5.1 Quello che ci aspetta

Come abbiamo visto, la crisi ha portato dei benefici, almeno dal punto di vista della riduzione delle emissioni di gas serra. Tuttavia, se non verranno presi importanti provvedimenti per apportare modifiche strutturali al sistema energetico globale, in qualche anno il consumo di energia mondiale comincerà a riprendersi e a crescere, arrivando a +40% nel 2030³⁶. Le emissioni di CO₂ previste passeranno da 44,2 Gt nel 2005 a 59,6 Gt nel 2030.

Nello scenario di base delle previsioni, i combustibili fossili rimarranno nel prossimo futuro alla base del mix energetico, rappresentando nel 2030 l'80% del mix di fonti primarie, aumentando di poco rispetto all'attuale composizione. Il petrolio rimarrà il combustibile principale, con il ruolo preponderante del carbone, soprattutto nei Paesi in via di sviluppo (come la Cina), per quanto riguarda la generazione di elettricità. La domanda in crescita di elettricità porterà a aumentare anche quella di petrolio, passando dagli 85 milioni di barili al giorno del 2007 ai 106 nel 2030. I consumi aumenteranno soprattutto nei Paesi in via di sviluppo che vedono la domanda di energia in continua crescita. È stimato che questi Paesi nel 2030 saranno responsabili per l'87% dell'aumento della domanda di energia, e già nel 2008, come ricordato precedentemente, le loro emissioni superarono per la prima volta quelle dei Paesi sviluppati. Cina e India saranno responsabili per più della metà di tale aumento. Il Medio Oriente emergerà come il nuovo e principale centro di domanda di energia, contribuendo con un ulteriore 11% all'incremento di domanda mondiale. Nonostante i continui miglioramenti nell'efficienza energetica, l'enorme crescita del parco veicolare, dai 650 milioni di veicoli del 2005 ai circa 1,4 miliardi stimati entro il 2030, continuerà a privilegiare l'uso del petrolio per il settore dei trasporti.

La crisi attuale non è che un intervallo del trend di crescita dei consumi e,

36 IEA, *World Energy Outlook 2009*.

conseguentemente, delle emissioni mondiali. La IEA (organismo OCSE) prevede un aumento della domanda mondiale di fonti primarie di energia del 45% al 2030. Alla luce di quanto suggerito dal IV Rapporto dell'IPCC, le previsioni dall'Agenzia Internazionale dell'Energia appaiono drammatiche: lo scenario di riferimento «prevede un tasso di crescita del consumo di energia fossile che ci conduce inesorabilmente verso una concentrazione di gas a effetto serra nell'atmosfera sul lungo termine superiore a 1.000 ppm di CO² equivalente. Tale livello di concentrazione avrebbe come conseguenza un aumento della temperatura media mondiale di oltre 6 °C. Ciò provocherebbe quasi certamente un drammatico cambiamento climatico con conseguenze irreparabili per il pianeta.»

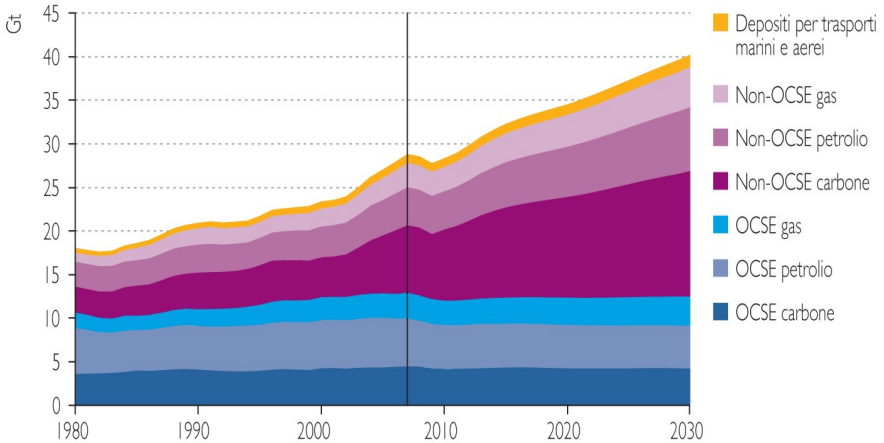


Grafico 15: emissioni di anidride carbonica (CO₂). (Fonte: IEA, WEO 2009)

Con l'obiettivo di mantenere l'innalzamento della temperatura globale intorno ai +2°C la IEA, e quindi 450 ppm di CO₂, ipotizzando forti investimenti per la diffusione di tecnologie a basso tenore di carbonio prevede che l'abbattimento complessivo delle emissioni al 2030 possa essere conseguito per oltre il 57% da un aumento dell'efficienza energetica, per il 23% dall'uso di fonti rinnovabili, per il 10% dall'uso di tecnologie di sequestro della CO₂, e per il 10% dal nucleare. Per raggiungere quindi l'obiettivo 450 ppm, utile per avere almeno la metà delle probabilità di non superare

il +2°C alla fine di questo secolo, le emissioni dovranno essere ridotte dal 50% all'85%, rispetto all'anno 2000, entro il 2050.

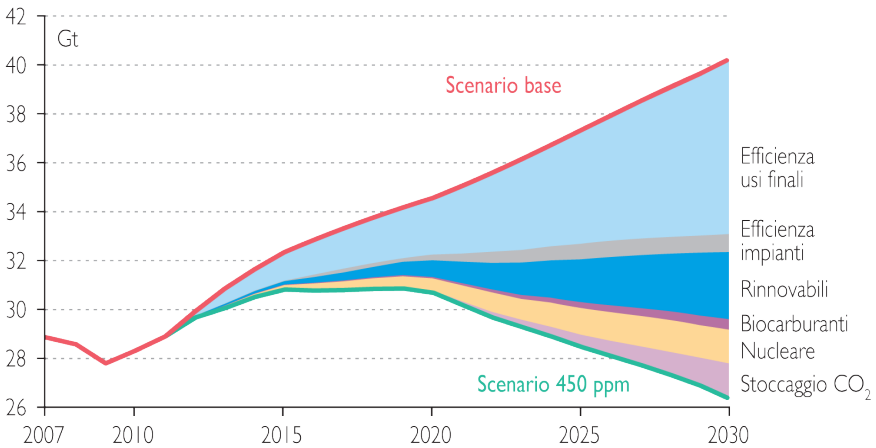


Grafico 16: riduzione delle emissioni globali di CO₂ relate alla produzione di energia.

(Fonte: IEA)

In definitiva quindi, il miglioramento dell'efficienza energetica costituisce il fattore più rilevante e più immediato e disponibile a costi contenuti, allorché l'uscita dalla crisi comporterà una ripresa del trend di crescita della domanda di energia, in attesa che nuove tecnologie low-carbon rimpiazzino quelle attuali nel medio-lungo periodo. L'attuale diminuzione dei prezzi dei combustibili fossili infatti, rende sempre meno attrattivi gli investimenti nelle tecnologie per la produzione di energia pulita, favorendo le opzioni meno *capital-intensive*. Nonostante questo, superata la recessione, le fonti di energia rinnovabile sono destinate a espandersi rapidamente. La produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, soprattutto idroelettrica e eolica, sorpasserà il gas diventando la seconda maggiore fonte di energia elettrica nel mondo, dopo il carbone, prima del 2015. Le quote di energia rinnovabile passeranno dal 18% del totale di energia elettrica nel 2006 al 23% nel 2030.

I.5.2 20-20-20

Come già detto, nel corso degli ultimi 150 anni, la temperatura media è aumentata di quasi 0,8°C a livello globale e di circa 1°C in Europa. La Comunità Europea, già da tempo, si è imposta un'ambizioso obiettivo volontario di riduzione delle emissioni climalteranti. Nel marzo 2007 i leader dell'Unione Europea hanno definito un piano per l'energia e il cambiamento climatico che miri a combattere il surriscaldamento globale, aumentare la sicurezza energetica, assicurare la competitività dell'economia europea e promuovere un'economia a basso contenuto di carbonio. Come ricordato, per raggiungere il traguardo finale, ossia mantenere l'aumento della temperatura mondiale al di sotto dei +2°C, i paesi industrializzati dovranno apportare una riduzione alle loro emissioni pari all'80% - 95% delle emissioni entro il 2050, rispetto all'anno 1990. Per dare impulso a questo processo, l'UE(27) ha fissato un obiettivo unilaterale di riduzione delle emissioni al 2020, che comprende:

- riduzione delle emissioni di gas serra di almeno il 20% rispetto al 1990;
- copertura del 20% del consumo di energia da parte di fonti rinnovabili, con una quota del 10% a partire da biocarburanti;
- riduzione del 20% dei consumi attraverso il miglioramento dell'efficienza energetica.

Se altri Paesi industrializzati si uniranno all'impresa, e i paesi in via di sviluppo più avanzati sul piano economico daranno un contributo adeguato alle rispettive responsabilità e capacità, anche in assenza di un nuovo accordo internazionale, l'Unione è disposta a diminuire le proprie emissioni fino al 30% entro il 2030, e di oltre il 50% entro il 2050. Il 23 gennaio 2008 la Commissione europea ha adottato un nuovo pacchetto di proposte finalizzate a soddisfare l'obiettivo di riduzione delle emissioni. Questo comprendeva:

- la revisione e l'estensione del sistema europeo di emission trading(i settori che ne fanno parte dovranno raggiungere una riduzione delle emissioni pari

al 21% rispetto al 2005);

- una decisione che riguarda lo schema di ripartizione tra i paesi di una riduzione delle emissioni non regolate dal sistema ETS, pari al 10% rispetto ai livelli del 2005, con una ripartizione degli oneri fra gli Stati Membri, nell'ambito della quale spetterebbe all'Italia un obiettivo del 13%;
- la ripartizione fra gli Stati dell'obiettivo comunitario sulle fonti di energia rinnovabili, nell'ambito della quale spetterebbe all'Italia un obiettivo del 17%;
- la definizione di un quadro giuridico per lo stoccaggio geologico dell'anidride carbonica.

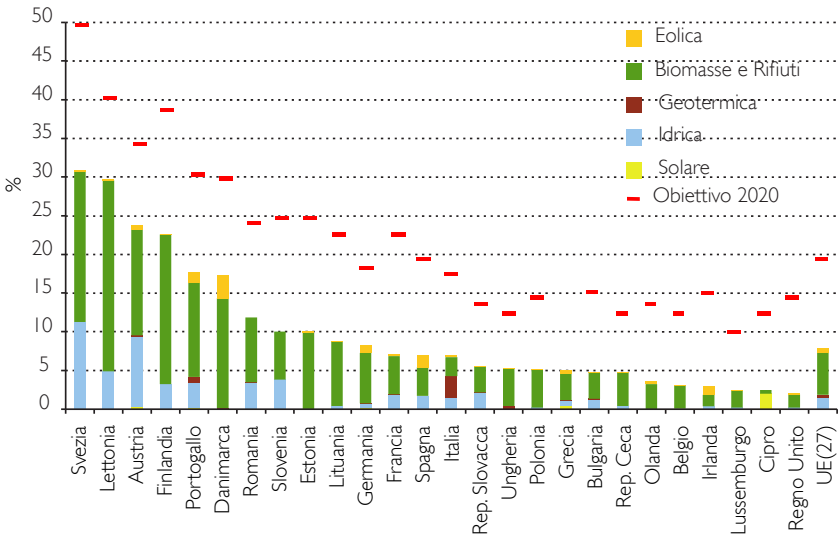


Grafico 17: percentuale dei consumi di energia da fonti rinnovabili rispetto ai consumi finali in Europa.

(Fonte: EEA 2007)

Vari settori come l'agricoltura, i trasporti e l'edilizia e tutti gli Stati membri dovranno fare la loro parte e contribuire agli obiettivi dell'Europa in base alle loro rispettive capacità finanziarie. La riduzione delle emissioni di gas a effetto serra richiederà un maggiore ricorso a energie rinnovabili, il che presuppone anche una fornitura

energetica più diversificata. Sia i settori sottoposti ai sistemi di scambio delle emissioni, che quelli non, dovranno contribuire al raggiungimento degli obiettivi. I settori non-trading includono le emissioni dirette dal residenziale e il terziario, come anche le emissioni dei trasporti, rifiuti e agricoltura. La copertura di questi settori attualmente rappresenta circa il 60% del totale delle emissioni di gas a effetto serra. Il pacchetto per l'energia e il clima, approvato dal Parlamento europeo e dal Consiglio nel dicembre 2008, è diventato formalmente vincolante con l'approvazione da parte del Consiglio Europeo, il 6 aprile 2009.

1.5.2.1 Previsioni

La crisi economica ha portato l'Unione Europea a un passo, non solo dall'obiettivo di Kyoto, ma addirittura al traguardo del 2020. Secondo le prime stime, l'UE(15) nel 2009 avrebbe raggiunto e superato l'obiettivo -8%, arrivando a un calo del 12,9% rispetto all'anno di riferimento, con un calo del -6,9% fra il 2008-2009. Le emissioni sono calate per il sesto anno consecutivo. Proiezioni per l'anno 2009 dell'EEA (Agenzia Europea per l'Ambiente) indicano per l'UE(27), per cui vale l'obiettivo 20-20-20, una riduzione delle emissioni addirittura del 17,3%.

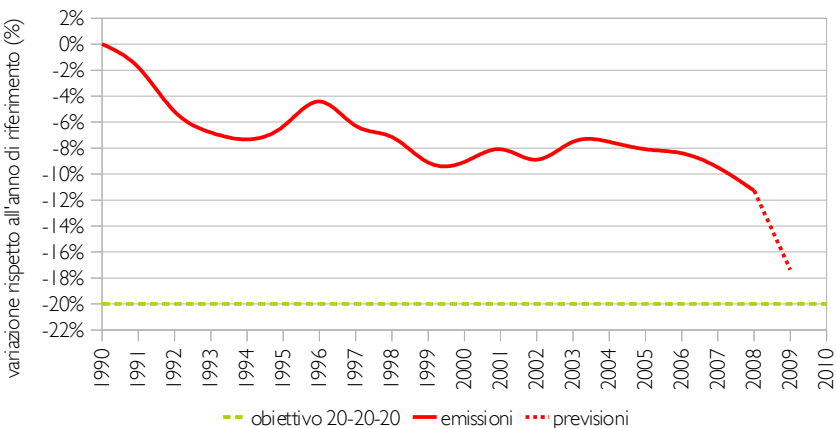


Grafico 18: andamento e proiezioni emissioni GHG, UE(15). (Fonte: EEA 2010)

Prima della crisi, la Commissione Europea stimava che l'eco-efficienza richiesta ai prodotti che assorbono energia, l'inclusione dell'aviazione nel sistema di scambio dell'emissioni, la strategia stringente sulle nuove automobili e sulla qualità dei carburanti, avrebbe portato importanti riduzioni al 2020. Così anche per il raggiungimento dell'obiettivo "Kyoto", veniva prevista l'implementazione di misure addizionali e dei meccanismi flessibili previsti³⁷. Come abbiamo visto, la crisi da sola ha permesso di essere a un passo dall'obiettivo, rendendo inutili misure più stringenti. Secondo molti osservatori quindi bisogna aggiornare il pacchetto clima e energia per prevedere un taglio all'emissioni ancora maggiore, arrivando a -30% o -40% al 2020³⁸. La recessione economica ha ridotto le produzioni industriali e il consumo di energia. Il PIL europeo si è contratto del 4,2% nel 2009. Sono diminuiti i consumi di combustibili fossili: -5,5% rispetto al 2008, con il più grande declino dei consumi di carbone (-12,7% per UE(27), -13,4% per UE(15)), con il conseguente maggior impatto sulle emissioni. I bassi prezzi del gas e un significativo aumento delle energie rinnovabili hanno contribuito a questo trend in calo. Il ruolo delle rinnovabili cresce nel mix energetico, anche grazie al calo dei consumi totali: +8,3% (escludendo le biomasse). I settori a alta intensità energetica, soggetti all'emission trading scheme europeo (come la siderurgia, la chimica e l'industria del cemento, -17%), hanno registrato un calo delle emissioni pari a -12,5% UE(15) e -13,6% UE(27). Dovuto alla recessione del mercato dell'automobile europeo e al rallentamento nel settore delle costruzioni, la produzione di ferro e acciaio è decresciuta in tutti i Membri nel 2009. Tutto ciò ci dimostra come sia la crisi a comandare questa flessione nelle emissioni, e non un reale impegno politico e economico. Se la situazione attuale non verrà sfruttata per il passaggio a un sistema a basse emissioni di carbonio, la crisi si potrebbe dimostrare disastrosa anche dal punto di vista delle emissioni, a causa dei bassi prezzi dei combustibili fossili, della necessità di una ripresa in tempi brevi e quindi di un ritorno a trend di consumo, e di emissioni, normali.

37 EEA, *Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2009*, 2010.

38 L'Italia si è sempre dimostrata contraria a questa eventualità.

I.5.3 Post-Kyoto

« La Conferenza delle Parti, prende atto dell'accordo di Copenaghen del 18 dicembre 2009. »

- COP 15 -

Come abbiamo visto dalle previsioni dell'IPCC (vedi pagina 54), le strategie intraprese per promuovere lo sviluppo sostenibile hanno sì, ridotto le emissioni di gas a effetto serra, ma in ogni caso sono state sovrastate dall'aumento dei consumi globali. La crescita ancora una volta ha battuto qualsiasi tipo di risparmio.

L'obiettivo dei +2°C è ormai riconosciuto dai governi a livello internazionale, ma per raggiungerlo è necessario un accordo vincolante. Nel luglio 2009, al vertice G8 svoltosi a L'Aquila è stato registrato un unanime consenso sull'importanza di mantenere l'incremento della temperatura media globale entro 2°C, e sulla necessità di ridurre le emissioni del 50% entro il 2050, con un taglio previsto per i Paesi sviluppati dell'80%. Tuttavia fino a quando non verranno sottoscritti accordi precisi, le sole dichiarazioni di intenti rimarranno sulla carta.

Come visto precedentemente, il Protocollo di Kyoto fissa obiettivi di riduzione delle emissioni da realizzare entro il 2012. Esso è visto generalmente come un importante primo passo verso una reale riduzione delle emissioni, e fornisce l'architettura essenziale per i prossimi accordi internazionali sui cambiamenti climatici. Una volta terminata la sua funzione, un nuovo accordo internazionale fra le Parti dovrà essere negoziato e ratificato per attuare la restrizione alle emissioni che l'IPCC ha chiaramente indicato come necessaria. Tuttavia, almeno per ora, quello che succederà dopo quella data rimane un mistero.

La tredicesima Conferenza delle Parti della Convenzione delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (COP 13) tenutasi a Bali nel 2007 ha stabilito una tabella di marcia (Bali Road Map) per i negoziati sul regime climatico dopo il 2012 (post-Kyoto). Questo accordo, che dovrebbe garantire una transizione senza soluzione di

continuità tra il regime climatico attuale e quello futuro. Nella tabella di marcia adottata a Bali furono inseriti i seguenti obiettivi:

- riduzione delle emissioni di gas serra;
- adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici;
- sviluppo e trasferimento di tecnologie;
- finanziamento.

Esso avrebbe dovuto porre fine alla divisioni negoziali fra paesi firmatari della sola Convenzione sul Clima e paesi firmati del Protocollo di Kyoto. Inoltre, questo accordo avrebbe dovuto comprendere gli Stati Uniti d'America, e paesi emergenti quali India, Cina e Brasile. L'obiettivo era quello di arrivare alla firma di un accordo vincolante entro la fine del 2009, durante la Conferenza delle Parti di Copenaghen



Illustrazione 7: la sirena di Copenaghen.

(Fonte: Greenpeace International)

(COP 15): purtroppo, così non è stato. Questa conferenza poteva contare, come base scientifica a supporto delle negoziazioni, sul IV Rapporto dell'IPCC, con tutti gli avanzamenti di conoscenze che nel frattempo gli esperti hanno maturato nella conferenza «Climate Change: Global Risks, Challenges and Decision» (vedi pagina 57), tenutasi nella stessa Copenaghen dal 10 al 12 Marzo 2009. Purtroppo, già dalla prima frase dell'accordo, apparentemente solo formale, si può cogliere il fallimento del 15° vertice delle Nazioni Unite sul Clima tenutosi dal 9 al 19 Dicembre 2009. Come scrive in un nota il Focal Point³⁹ per l'Italia

³⁹ «Il Focal Point Nazionale IPCC può considerarsi come un punto di incontro tra l'IPCC, la comunità scientifica e l'opinione pubblica nazionale al fine di favorire il mutuo scambio di informazioni sulle attività in corso». (Fonte: <http://www.cmcc.it/ipcc-focal-point>)

l'accordo è stato «...riconosciuto con una decisione che letteralmente “prende nota” della sua esistenza, ma non lo adotta formalmente.»

Viene ribadita la gravità della situazione climatica che si ha di fronte e tutto ciò che ne consegue, sostenendo l'obiettivo dei +2°C come possibile orizzonte climatico che possa garantire equità nello sviluppo sostenibile fra gli stati membri. Vengono ovviamente sottolineate le diverse responsabilità climatiche fra le parti. Altro punto mancante nell'accordo di Copenaghen è la specificazione di precisi obiettivi a medio termine (2050) o a lungo termine (2080). Viene menzionata la possibilità della creazione di un fondo comune per il finanziamento delle misure di adattamento e mitigazione nei paesi in via di sviluppo. Si pone anche come obiettivo la revisione di tale accordo nel 2015, con la possibilità di spostare il limite per il riscaldamento globale a soli +1,5°C.

Come è presente in una nota sul sito www.cmcc.it, «la maggior parte degli impegni di riduzione (non vincolanti) inoltrati al Segretariato rinnova le promesse fatte precedentemente e in occasione del vertice di Copenaghen dello scorso dicembre.» In poche parole un accordo che non ha alcun effetto di impegno reale e non riesce nemmeno a livello di impegno a migliorare la situazione, può essere definito un fallimento. Non solo. Quantificando le riduzioni di emissioni promesse, esse non sembrano comunque sufficienti per limitare le emissioni a 44 miliardi di tonnellate di CO₂-eq nel 2020, obiettivo congruente con un innalzamento della temperatura media globale di +2°C. In poche parole gli impegni politici contenuti nell'appendice vanificano l'obiettivo climatico inserito nella parete generale dell'accordo: un vero pasticcio. La nota positiva è che gli Stati Uniti d'America hanno ribadito la propria volontà, di ridurre le emissioni di gas a effetto serra del 17% entro il 2020. I paesi in via di sviluppo hanno invece di loro spontanea volontà espresso delle intenzione di riduzione delle emissioni. La Cina, per esempio, avrebbe indicato una riduzione delle emissioni del 40-45% mentre l'India propone una riduzione del 20-25% entro il 2020, tenendo come anno di riferimento il 2005. Ovviamente entrambe queste nazioni tengono a precisare che queste azioni proposte hanno natura volontaria e

quindi non hanno carattere legale vincolante.

Secondo il Segretario Esecutivo dell'UNFCCC, Yvo de Boer, l'accordo «pur non essendo tutto quello in cui si era sperato, è un primo passo importante; ora la sfida è tradurlo in uno strumento legalmente vincolante tra un anno in Messico». ⁴⁰ Si è quindi deciso di procrastinare gli obiettivi di Bali fino al termine utile stabilito come dicembre 2010, nella COP16 messicana.

Quello che succederà dopo il 2012, ossia dopo che il Protocollo di Kyoto avrà terminato la sua validità, rimane ancora un mistero. Ciò su cui si ha la certezza in questo momento sono gli scenari a cui andremo incontro se nulla faremo per opporci ai cambiamenti climatici in atto. Ammesso di avere ancora qualche margine di intervento e che quindi tutto non definitivamente compromesso.

Parti Allegato I	Riduzione emissioni	Anno di riferimento
Australia	5% / 15%-25%	2000
Bielorussia	5% - 10%	1990
Canada	17%	2005
Croazia	5%	1990
UE(27)	20% / 30%	1990
Islanda	30%	1990
Giappone	25%	1990
Kazakistan	15%	1992
Liechtenstein	20% / 30%	1990
Monaco	30%	1990
Nuova Zelanda	10% / 20%	1990
Norvegia	30% / 40%	1990
Russia	15-25%	1990
Svizzera	20% / 30%	1990
Ucraina	20%	1990
Stati Uniti d'America	17%	2005

Tabella 2: obiettivi di emissione quantificati per il 2020.

⁴⁰ COP16/CMP6, 29 Novembre-10 dicembre 2010, Cancùn, Messico

I.6 Italia

I.6.1 Il bel paese

La situazione italiana non è molto diversa da quanto presentato fin'ora per gli stati sviluppati dell'occidente e dell'Unione Europea. In 2 parole: i consumi, i rifiuti e le emissioni di gas climalteranti sono cresciute costantemente negli ultimi 20 anni. Anche da noi, la crisi ha portato possibilità inaspettate di centrare gli obiettivi previsti. Gli aspetti caratterizzanti il contesto territoriale e socio-economico del Paese, in particolare le dinamiche demografiche e i comportamenti dei soggetti economici, hanno strette connessioni con le pressioni antropiche che minacciano l'ambiente. Gli ultimi 60 anni sono stati caratterizzati da una forte diminuzione del tasso di natalità e da un graduale invecchiamento della popolazione italiana, con un aumento dell'immigrazione. Nel contesto europeo l'Italia è uno degli stati più densamente popolati. Dopo il cosiddetto "miracolo economico" dal 1970 a oggi si è verificata una progressiva terziarizzazione della nazione, riducendo la propria vocazione agricola e industriale. In questo periodo il PIL è raddoppiato, così come i consumi e gli investimenti. Attualmente il 70,4% del PIL è generato dal settore terziario. Il settore primario, primario ne contribuisce per 2,5 punti. Preoccupante è il consumo di suolo che determina la perdita totale di ampi territori a valore agronomico.

I.6.2 Energia

I consumi finali del nostro paese rappresentano l'11,4% dei paesi UE(27). Dal 1990 (10,1%) la percentuale è progressivamente aumentata. Rispetto alla media europea, i consumi di energia primaria in Italia si caratterizzano per un maggiore ricorso a petrolio e gas, per una componente importante di importazioni di elettricità (5%), e per un ridotto uso del carbone (9%). La domanda finale di energia nel 2008 si attesta a 192 Mtep⁴¹, inferiore dell'1% rispetto al 2007.

⁴¹ Fra le regioni italiane la Lombardia consuma il 21,6% del totale nazionale.

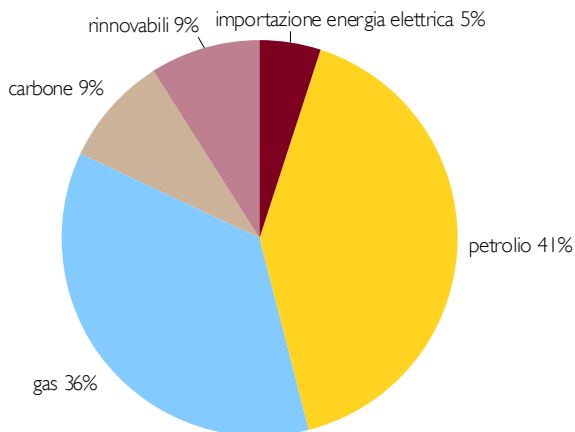


Grafico 19: domanda di energia per fonte, 2008.

(Fonte: Ministero Sviluppo Economico)

Il sistema energetico nazionale è caratterizzato da prestazioni migliori rispetto alla media europea (64,5%), in termini di intensità energetica e di rapporto tra i consumi finali e quelli totali di energia, evidenziando in questo modo un maggiore efficienza, pari a circa 72%. L'entrata in esercizio, dal 1999, di impianti a ciclo combinato, più efficienti, ha causato un calo dei consumi specifici medi di combustibile nella produzione di energia elettrica da fonte fossile, che dal 2000 si sono ridotti del 12,3%.

La dipendenza energetica del nostro Paese è passata dall'82,8% nel 1990 all'85,5% nel 2008 (+2,7%), a fronte di un valore medio nell'Unione Europea prossimo al 56%. Nonostante le modifiche nel mix delle fonti primarie, nel 2007 è stato importato il 78,5% di combustibili solidi, (88,4% di gas, 92,9% di petrolio) e il 15,2%⁴² dell'elettricità di tutta la produzione nazionale. Il ruolo del gas naturale, così come le sue importazioni, è cresciuto rispetto ai prodotti petroliferi nel mix energetico, dal 23,9% nel 1990 al 36,5% nel 2008, mentre quella dei prodotti petroliferi è scesa dal

⁴² L'elettricità importata dall'estero è prodotta sostanzialmente da fonte nucleare. L'Europa rappresenta l'area continentale con la maggior concentrazione di impianti nucleari. Con un parco di 149 reattori, per circa 133 GWe, l'Unione Europea produce il 34% dell'energia elettrica da fonte nucleare.

56,6% al 41,4%, con un tendenziale aumento del contributo delle fonti rinnovabili e della cogenerazione. A partire dal 2001 si è avuta anche una ripresa nel consumo di combustibili solidi (carbone), che è passato dal 7,4% del 1996 al 11,5% del 2008 in termini di contributo alla fonti energetiche primarie (rinnovabili escluse).

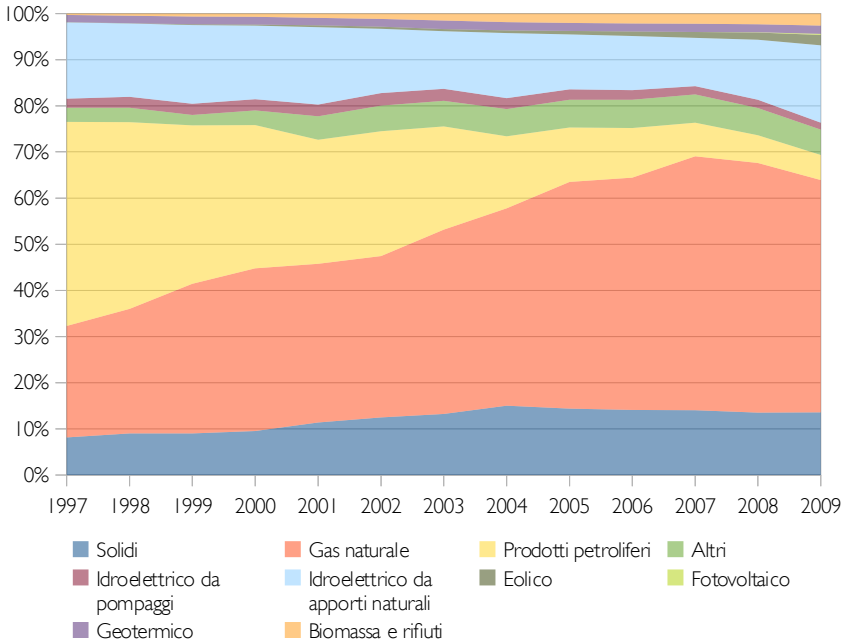


Grafico 20: produzione di energia per fonte (percentuali), 1997-2009. (Fonte: AEEG 2010)

Il bilancio energetico italiano mostra come il calo della domanda di energia sia dovuto al rallentamento della crescita industriale, e conseguentemente alla crisi economico-finanziaria. La riduzione dei consumi è stata più limitata nei trasporti, mentre hanno continuato a crescere gli usi civili. Le stime per il 2009 mostrano impatti ancora più pesanti, ma i dati non sono attualmente disponibili. Analizzando l'impatto di lungo periodo che le crisi petrolifere hanno avuto sugli usi industriali italiani, è possibile dimostrare che i consumi di energia non sono più tornati allo stesso livello del 1974 e in particolare è evidente la drastica rottura dei consumi,

segnati da una lenta ripresa. Anche per l'Italia gli obiettivi di riduzione delle emissioni appaiono più vicini, anche se questo quadro presenta il rischio di ridurre le pressioni per un impegno nazionale di riduzione delle emissioni di CO₂ (vedi pagina 96).

Per quanto riguarda i consumi finali di energia, a partire dal 1990 si registra un trend di crescita, con un picco nel 2005 (+20,7%) e una successiva contrazione (-4,1% nel 2008 rispetto al 2005). Complessivamente i consumi finali nel 2008 sono aumentati del 15,7% rispetto al 1990. Il settore industriale (29%), civile (34,4%), dei trasporti (34,2%) si dividono i consumi finali. Il settore agricolo assorbe il restante 2,4%. L'industria presenta un declino del 8,6% dei consumi dal 2004. Il settore residenziale e terziario è caratterizzato da un andamento annuale con notevoli oscillazioni a causa della variabilità climatica. Nel quinquennio 2000-2005 si registra una crescita del 18,3%, più di 2 volte superiore a quella del quinquennio 1995-2000, ma tale andamento si interrompe negli ultimi anni in cui il settore fa registrare una contrazione dei consumi del 3,5%, rispetto al 2005. Tuttavia nell'ultimo anno si osserva una ripresa dei consumi di questo settore (+4,8%). La contrazione dei consumi finali in questo periodo è particolarmente rilevante per il settore industriale (-4,7%), dei trasporti (-1,7%) e per il settore agricoltura e pesca (-1,5%).

Fin dal 1990 il settore dei trasporti appare caratterizzato da una crescita costante (+29,6% nel 2008) dei consumi finali di energia interrotta da lievi flessioni. Questo settore deve far fronte a forti aumenti della domanda di mobilità. Il traffico veicolare, tra il 1990 e il 2008, registra un incremento del 60% dei km percorsi sulle autostrade italiane. Anche per il 2008 il trasporto su strada si conferma la modalità prevalente sia per le merci sia per i passeggeri. L'Italia si trova al secondo posto tra i Paesi europei per il numero di autovetture circolanti in relazione alla popolazione residente, ma è la prima per numero di veicoli. Solo gli USA hanno un tasso di motorizzazione per abitante più elevato del nostro.

Il trend dei consumi finali, insieme alla crescita del PIL registrata negli ultimi anni, è alla base dell'incremento dell'intensità energetica totale tra il 2002 e il 2005 (+2,9%), seguito da una consistente riduzione nel 2008 (-5,3% nel 2008 rispetto al 2005).

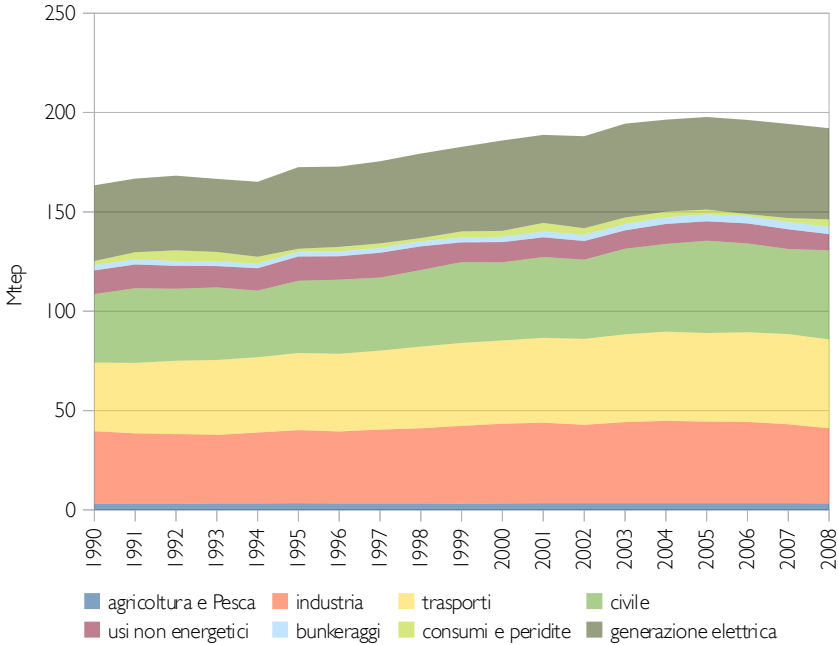


Grafico 21: consumi finali di energia per settore economico. (Fonte: Ministero Sviluppo Economico)

Il 30% delle fonti primarie disponibili costituisce l'input del settore termoelettrico. Nel 2007 la generazione elettrica ha assorbito il 24,4% dei consumi finali di energia (circa 46 Mtep). Tra il 1994 e il 2008 il tasso di crescita della produzione di energia elettrica è stato notevolmente maggiore di quello dei consumi totali di energia, indicando un ruolo crescente dell'elettricità come vettore energetico nel sistema energetico nazionale.

Il totale dell'energia elettrica prodotta in Italia è cresciuto del 46,9%, tra il 1990 e il 2008, l'incremento nell'ultimo anno è stato dell'1,7% rispetto all'anno precedente. Questo aumento è dovuto alla produzione idroelettrica (+22,7% rispetto al 2007) e a quella da eolico e fotovoltaico (+24,1% rispetto al 2007). Il settore termoelettrico (81,8% di tutta la produzione) mostra una flessione della produzione dell'1,6% rispetto al 2007. Per quanto riguarda i combustibili, risulta particolarmente

significativo il contributo del gas naturale nel 2008 (dal 18% nel 1990 al 54,3% nel 2008) e dei combustibili solidi (13,5%), mentre diminuisce sempre di più il contributo dei prodotti petroliferi (nel 2008 pari al 6%, mentre nel 1990 era il 47,4%). Il fabbisogno nel 2007 è stato coperto per l'86,4% con la produzione nazionale destinata al consumo e per la restante parte dal saldo estero. La principale fonte rinnovabile, l'idroelettrico, contribuisce per il 14,8% alla produzione elettrica nazionale, mentre la produzione geotermica, da eolico e fotovoltaico presentano complessivamente una quota del 3,3%, per un totale di 18,8% di produzione elettrica da fonti rinnovabili nel 2008.

Gli usi finali di energia elettrica vedono il settore industriale (45,1%) e quello terziario e residenziale (49,7%) assorbire il 94,8% dell'intera produzione. Le punte di fabbisogno di energia elettrica nei mesi considerati mostrano un trend in continua crescita nel decennio analizzato. Rispetto all'anno di riferimento (1999), nel 2009 si registrano aumenti anche oltre il 10%, in particolare nei mesi di maggio, giugno e luglio. Tutto ciò è certamente legato all'utilizzo sempre più massiccio degli impianti di condizionamento, ormai ampiamente diffusi negli edifici pubblici così come negli appartamenti privati. I picchi osservati sono sempre più elevati nel tempo e, con ogni probabilità, nei prossimi decenni raggiungeranno valori superiori a quelli tipicamente invernali, facendo registrare consumi record. Tra i fattori chiave all'origine di tale fenomeno vi è senz'altro l'aumento delle temperature medie estive e il verificarsi delle ondate di calore più frequenti, soprattutto nell'area mediterranea, come ricordato a pagina 53.

1.6.2.1 Rinnovabili

L'Italia presenta una quota di energia primaria prodotta da fonti rinnovabili più elevata rispetto alla media OCSE, grazie soprattutto alla fonte idroelettrica. Tuttavia la produzione di energia da fonti rinnovabili ha ancora un peso relativo piuttosto limitato (9% nel 2008) rispetto al totale del consumo interno lordo di energia. La

fonte principale rimane l'idroelettrico, il cui contributo presenta fluttuazioni annuali legate alle condizioni meteorologiche, mentre il contributo delle fonti non tradizionali, eolico, solare, rifiuti, legna (esclusa quella da ardere), biocombustibili, biogas, è aumentato del 413,9% tra il 1991 e il 2007.

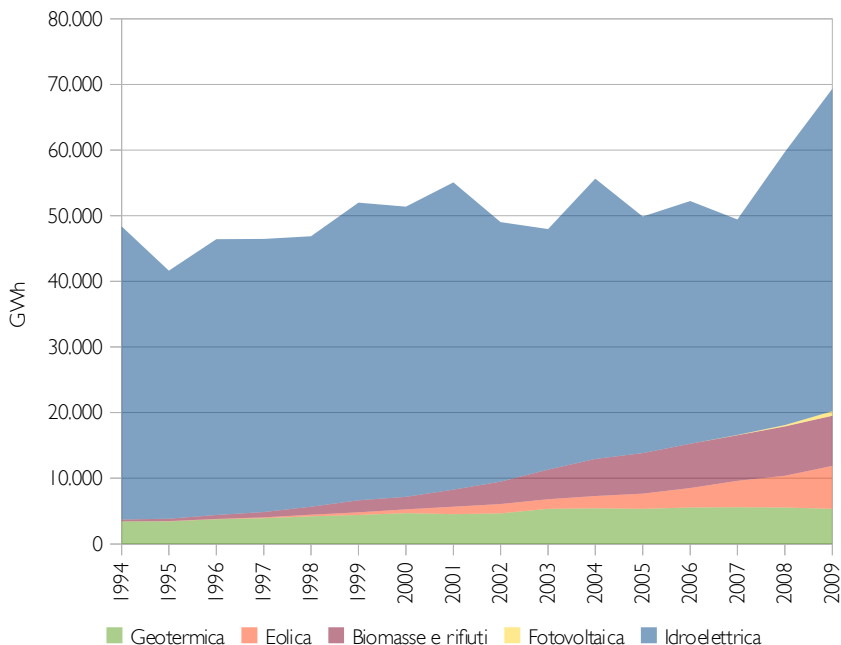


Grafico 22: produzione lorda di energia elettrica da fonti rinnovabili. (Fonte: AEEG 2010)

Come ricordato, le energie rinnovabili contribuiscono per il 18,8% alla produzione elettrica nazionale. L'energia idroelettrica, concentrata nelle regioni dell'arco alpino, costituisce il 69,7% dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili. Negli ultimi anni risulta particolarmente evidente l'incremento della produzione di elettricità dal vento, quasi totalmente nelle regioni meridionali e insulari (98,4%), da 117,8 a 4.861,3 GWh nel periodo 1997-2008, (+4190%) e dalle biomasse/rifiuti, da 820,3 a 7.522,5 GWh (+917%), attestandosi a una quota del 12,6% del totale. Anche la produzione elettrica di origine geotermica, limitata alla Toscana, presenta un andamento

crescente, sebbene in misura inferiore rispetto alle altre fonti, da 3.905,2 a 5.520,3 GWh dal 1997 al 2008 (+141%), costituendo il 9,2% dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili. Il contributo del fotovoltaico rimane a livelli molto bassi (193,0 GWh nel 2008), tuttavia si registra un considerevole incremento rispetto all'anno precedente (+395%). Insieme all'eolico, il fotovoltaico costituisce l'8,5% della produzione elettrica da fonti rinnovabili.

La produzione elettrica da fonti rinnovabili è aumentata del 30,9% dal 1991 al 2008 e nell'ultimo anno l'incremento è stato del 20,9%, principalmente dovuto all'apporto da fonte idroelettrica. Fra il 2007 e il 2008 si è registrato un incremento della potenza installata di circa 1.550 MW.

1.6.3 Kyoto-Italia

« Il Presidente della Repubblica è autorizzato a ratificare il Protocollo di Kyoto alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, fatto a Kyoto l'11 dicembre 1997.»

- Art.1, comma 1, legge 1 Giugno 2002, n.120 -

Per l'Unione europea, l'accordo di Kyoto ha fissato, a conclusione dell'impegnativa negoziazione, una riduzione dell'8%. Questa quota generale è stata tradotta dal Consiglio dei Ministri dell'Ambiente dell'UE(15) del 17 giugno 1998, negli obiettivi di riduzione delle emissioni dei singoli Stati membri: per l'Italia è stato stabilito che entro il 2008-2012 riduca le proprie emissioni nella misura del 6,5% rispetto ai livelli del 1990. Questa quota è quindi minore della media europea e minore di quella originariamente prevista dal protocollo per ogni singolo stato (8% per l'Italia). Le emissioni di gas serra per quell'anno sono state quantificate in 517 milioni di tonnellate di CO₂-equivalente, per cui l'obiettivo italiano è quello di raggiungere circa i 483 milioni di tonnellate di CO₂-equivalente entro il 2012.

L'Italia, con la legge 120/2002, ha ratificato il protocollo di Kyoto, entrato in vigore 3

anni più tardi. La legge prevede semplici obiettivi per il raggiungimento dell'accordo di Kyoto⁴³:

- miglioramento efficienza energetica nazionale e utilizzo di fonti di energia rinnovabile (biomassa, solare termico e fotovoltaico, eolico, rsu e biogas);
- aumento dell'assorbimento di gas serra da parte del suolo, anche con l'impiego di piantagioni forestali per l'assorbimento del carbonio;
- utilizzo dei meccanismi flessibili previsti dal protocollo;
- ricerca e sperimentazione per l'introduzione dell'idrogeno come vettore energetico nel sistema energetico nazionale e nei trasporti.

Le emissioni nazionali rimasero stabili nella prima metà degli anni '90, cominciando a aumentare per i 10 anni successivi. Dal 2005 si è rilevata una riduzione costante rispetto al 1990. La crescita delle emissioni di gas serra da processi energetici nel periodo 1990-2008 (+8,2%), corrisponde a andamenti diversi per settore economico, ma è evidente un notevole aumento delle emissioni per il settore dei trasporti (+20,4%) e per il settore delle industrie energetiche (+16,5%). Nel 2008 i processi energetici sono stati all'origine del 94,3% delle emissioni di anidride carbonica, del 17,8% delle emissioni di metano e del 16,6% delle emissioni di azoto; complessivamente l'83,6% delle emissioni totali di gas serra è stato di origine energetica⁴⁴. Rispetto al 1990, nel settore residenziale si osserva una riduzione di -3,6% (a cui ha contribuito una variazione dei gradi-giorno di -6%), nel settore dei servizi un grande incremento (+66,5%), mentre per le industrie manifatturiere si registra una riduzione del -15,7%. Rispetto al 2007, nel 2008 si osserva una riduzione delle emissioni totali (-2,1%), caratterizzata da un calo delle emissioni in tutti i settori salvo che nei servizi (+4,8%) e nel residenziale (+7%). Il settore industriale manifatturiero presenta una marcata riduzione (-4,1%), così come il settore delle industrie energetiche, sebbene quest'ultima sia meno consistente (-1,5%). Per quanto riguarda i trasporti si osservano emissioni per la prima volta in diminuzione (-3,8%).

⁴³ Legge 120/2002, art. 2, comma 1.

⁴⁴ ISPRA, *National Inventory Report 2010*, 2010.

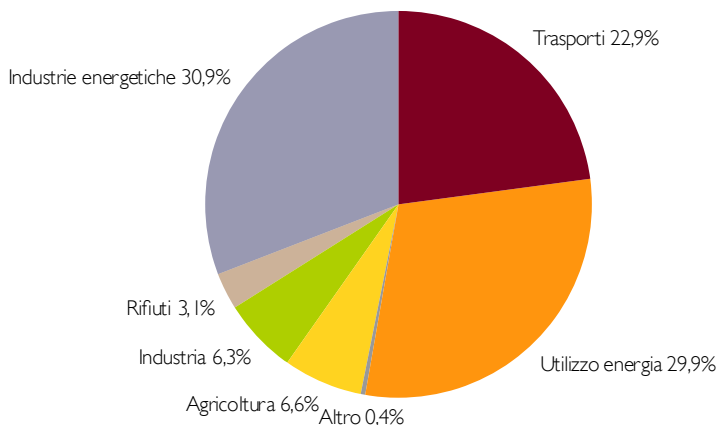


Grafico 23: emissioni di CO₂-equivalente per settore, 2008. (Fonte: ISPRA 2010)

A livello globale, nel 2007, l'Italia era responsabile del 1,51% delle emissioni complessive provenienti dall'uso dei combustibili fossili, occupando la 12^o posizione dei Paesi con i maggiori livelli di emissioni di gas serra⁴⁵. A livello europeo, l'Italia è al terzo posto fra gli emettitori di gas a effetto serra, dopo Germania e Inghilterra. A differenza di queste nazioni però, nel 2008 le emissioni italiane erano superiori di +4,7% rispetto al livello del 1990 (541,5 Mt di CO₂-eq.). L'aumento è dovuto principalmente al trasporto su gomma, alla produzione elettrica e di calore, e al raffinamento petrolifero.

Sulla base di questa tendenza, dovendo colmare nel 2008 un salto percentuale di 11,2 punti (circa 58 milioni di tonnellate), l'EEA ha dichiarato che l'Italia potrebbe non essere in grado di rispettare l'obiettivo di riduzione delle emissioni di gas serra nazionale senza il ricorso agli assorbimenti di carbonio da parte delle foreste e dell'uso dei suoli, e ai meccanismi flessibili di cooperazione internazionale previsti dal Protocollo: tali misure dovevano però ancora essere identificate e adottate. Ma per fortuna è arrivata la crisi.

⁴⁵ IEA, *CO₂ emission from fuel combustion. Highlights*, 2009.

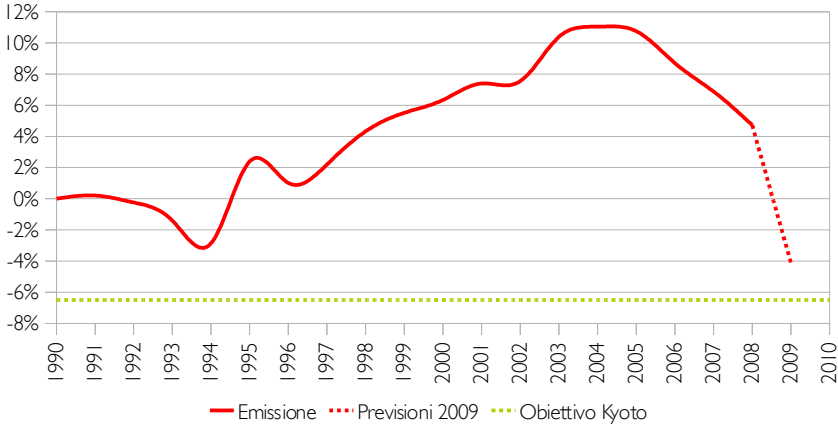


Grafico 24: emissioni di gas serra rispetto al 1990 (percentuali). (Fonte: ISPRA)

Nel 2008 eravamo ad un +4,7% rispetto ai livelli del 1990 mentre alla fine 2009 saremmo a -4,1%, con un calo molto vicino ai 9 punti percentuali in soli due anni. Questo risultato, secondo Riccardo De Laurentis, a capo del team che ha stilato l'inventario dell'ISPRA, sembra essere fortemente influenzato, dal «rallentamento delle economie globali che per esempio hanno sottratto circa il 30% del volume d'affari alle industrie del cemento e dell'acciaio». L'effetto positivo della crisi nel breve termine sembra essere un abbassamento della curva delle emissioni pari a circa 45 Mt di CO₂-eq. Il crollo del 2009 è strettamente legato all'arrivo della recessione e, malgrado il calo delle emissioni degli ultimi anni, quella di Kyoto rimane un'emergenza in termini economici, di immagine e di mancate opportunità.

1.6.4 Futuro

A lungo termine sono in previsione obiettivi di riduzione delle emissioni, attualmente in discussione nella comunità internazionale, orientati al dimezzamento delle emissioni di gas serra entro il 2050, necessario per mantenere l'incremento della temperatura globale entro i 2°C, obiettivo che richiederebbe una riduzione dell'80%

per i paesi sviluppati, come più volte ricordato. Per quanto riguarda l'Italia, un obiettivo così ambizioso, è tecnicamente raggiungibile a patto che si intraprendano immediatamente tutte le opzioni di abbattimento⁴⁶. Dopo la crisi, l'obiettivo al 2020 è diventato meno stringente. Molti studi, in linea con quanto suggerito dall'IPCC (vedi pagina 56), concordano nel dire che il primo intervento da attuare, con le tecnologie disponibili oggi, con costi negativi, nel breve e medio periodo, è il ricorso a un aumento dell'efficienza energetica negli usi finali dell'energia, che ha orizzonti di copertura pari a più del 50%. Gli incrementi di efficienza inoltre consentono di migliorare l'impatto ambientale delle attività umane, e rappresentano un forte stimolo di progresso tecnologico per il paese. Tra le diverse opzioni il potenziale maggiore si ha nel settore residenziale (15 Mt di CO₂-eq); l'industria si prevede possa avere un impatto pari a 1/5 della riduzione corrispondente all'incremento di efficienza negli usi finali. Successivamente l'implementazione di tecnologie a basso, o a nullo, utilizzo di carbonio potranno ridurre ulteriormente le emissioni nel lungo periodo. È ricordato inoltre che un ruolo di rilievo spetta ai cambiamenti dello stile di vita e dei comportamenti abituali, mediante il risparmio energetico.

Il Piano d'azione dell'Efficienza Energetica Italiano, presentato nel 2007, descrive gli orientamenti da perseguire per raggiungere l'obiettivo previsto dalla Direttiva 2006/32/CE, ossia il raggiungimento del 9,6% di risparmio energetico entro il 2016, rispetto al periodo 2001-2005 (circa 11 Mtep). La quasi totalità delle misure considerate ha come obiettivo la riduzione del fabbisogno energetico dell'edificio e di consumi dei dispositivi di uso finale dell'energia. Per quanto riguarda il settore civile le misure da intraprendere riguardano l'isolamento di pareti, e la sostituzione con impianti di climatizzazione efficienti, rispondendo così anche a quanto previsto dalla certificazione energetica degli edifici⁴⁷ (da direttiva 2002/91/CE). Secondo gli scenari

⁴⁶ ENEA, *Rapporto energia e ambiente 2008, 2009*.

⁴⁷ Nel nostro Paese, il processo normativo in materia di certificazione energetica degli edifici, è stato introdotto con la L. 10/1991. Tuttavia questa non fu mai attuata. Il recepimento della Direttiva 2002/91/CE su tale argomento è avvenuto con il D.Lgs. 192/2005, rivisto e integrato con il D.Lgs. 311/2006. La normativa introduce la certificazione energetica obbligatoria per ottenere il permesso di costruire nel caso di nuovi edifici, e per trasferimenti a titolo oneroso nel campo immobiliare. Inoltre per tutti i nuovi edifici è stabilito l'obbligo dell'uso di fonti di energia rinnovabile in determinate quote.

ENEA questi interventi possono dare un contributo alla mitigazione dei gas serra di oltre il 45%, superiore a quanto previsto con tecnologie rinnovabili (22,4%) e altre tecnologie efficienti (10%). Bisogna ricordare che l'Italia è tra i Paesi a maggior consumo per m², insieme a Germania, Regno Unito, Irlanda, Francia e Grecia.

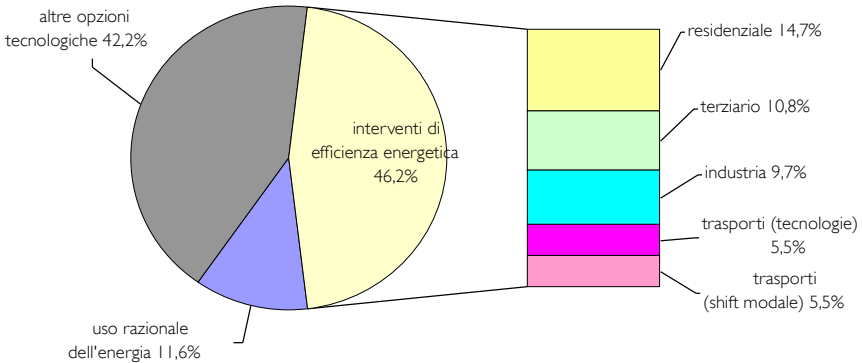


Grafico 25: contributo delle opzioni di efficienza energetica nell'abbattimento delle emissioni di CO₂.
(Fonte: ENEA 2009)

Nell'ottica degli obiettivi previsti dall'UE per il 2020 (vedi pagina 78), la direttiva 2009/28/CE stabilisce un quadro comune per la promozione dell'energia da fonti rinnovabili e fissa obiettivi nazionali obbligatori. Come già ricordato, per l'Italia è previsto un obiettivo del 17% del consumo totale di energia soddisfatto da fonti di energia rinnovabile, attualmente siamo a una quota pari a circa il 9%. Secondo quanto previsto all'art. 4 della direttiva, l'Italia ha adottato un Piano di Azione Nazionale per le Energie Rinnovabili, il quale ha disposto gli obiettivi per la quota di energia da fonti rinnovabili consumata nel settore dei trasporti, dell'elettricità e del riscaldamento e raffreddamento nel 2020.

Dopo molti anni di attesa il Ministero dello Sviluppo economico ha pubblicato nel luglio 2009 le linee guida a livello statale per la certificazione, che le regioni dovranno seguire per implementarla nella loro normativa. Regioni come la Lombardia, avevano già provveduto con una propria normativa a riguardo prima di questa data.

1.7 Rapa Nui: il ritorno

Nella storia dell'Isola di Pasqua, il confronto fra l'esaurimento delle risorse, la crescita demografica, e la distruzione dell'ambiente può essere paragonato al presente della nostra società dei consumi. Ma per fortuna, Rapa Nui, oltre a insegnarci la tragica fine di chi sfrutta fino all'esaurimento le risorse naturali, ci da qualche speranza sul nostro futuro.

L'isola ora vive essenzialmente grazie al turismo, ma ospita ancora i discendenti di alcuni nativi. La storia della popolazione anche dopo l'arrivo degli europei è turbolenta. Nel 1805 cominciò una serie di deportazioni di schiavi dall'isola che fece diminuire la popolazione presente. Dopo alcuni anni i sopravvissuti tornarono sull'isola, portando con sé il vaiolo. L'epidemia decimò la popolazione fino a ridurla a circa 150 persone. Morirono tutti gli uomini religiosi, gli unici a conoscere la scrittura originale dell'isola. Dopo questa catastrofe le poche persone rimanenti vennero raccolte in un unico villaggio chiamato Hanga Roa, dove i loro discendenti vivono ancora oggi. Verso il 1870 nell'isola venne introdotto il pascolo di pecore, che rovinò persino la copertura erbosa dell'isola, contribuendo a aumentare l'erosione del suolo. I nativi, come i loro antenati, era imprigionati nell'isola: nessuna terra da coltivare e pochissimi capi di bestiame rimasti, li resero dipendenti dalle scorte portate sull'isola dall'amministrazione cilena, fino all'avvento del turismo. La concentrazione della popolazione indigena rimasta in un unico villaggio distrusse i metodi costruttivi locali, che avevano bisogno di pietra e paglia in quantità non disponibili nelle immediate vicinanze di Hanga Roa. Le caratteristiche originarie delle costruzioni morirono, lasciando posto a un collage di elementi, basati sul riuso dei barili di petrolio abbandonati sull'isola dai pastori, accumulati per almeno 6 anni sulle coste dell'isola. Gli isolani non potevano accedere ai materiali da costruzione convenzionali, così Hanga Roa rimane ancora oggi un villaggio costruito quasi

interamente di un materiale recuperato. I barili vengono privati della base e del apice, appiattiti fino a formare un sottile foglio di acciaio leggero o malleabile, ottenendo un materiale da costruzione a costo zero. Come disse Martin Pawley nel 1974, «il villaggio rimane il più spettacolare e perfetto esempio di abitazioni fatte da rifiuti di tutto il mondo.»⁴⁸ Essi quindi riuscirono a trasformare i rifiuti abbandonati dai loro oppressori in materiali da costruzione per il loro villaggio. Un ennesimo esempio, di come Rapa Nui possa essere al tempo stesso un ammonimento, ma anche una strada da seguire.



Illustrazione 8: abitazione a Hanga Roa, realizzata con lamiera recuperata.

⁴⁸ Pawley M., *Garbage Housing*, Architectural press, Londra, 1975.

2. Rifiuti

2.1 Leonia

«La città di Leonia rifà se stessa tutti i giorni: ogni mattina la popolazione si risveglia tra lenzuola fresche, si lava con saponette appena sgusciate dall'involucro, indossa vestaglie nuove fiammanti, estrae dal più perfezionato frigorifero barattoli di latta ancora intonsi, ascoltando le ultime filastrocche dall'ultimo modello d'apparecchio.

Sui marciapiedi, avviluppati in tersi sacchi di plastica, i resti della Leonia d'ieri aspettano il carro dello spazzaturaio. Non solo tubi di dentifricio schiacciati, lampadine fulminate, giornali, contenitori, materiali d'imballaggio, ma anche scaldabagni, enciclopedie, pianoforti, servizi di porcellana: più che dalle cose che ogni giorno vengono fabbricate vendute comprate, l'opulenza di Leonia si misura dalle cose che ogni giorno vengono buttate via per far posto alle nuove. Tanto che ci si chiede se la vera passione di Leonia sia davvero come dicono il godere delle cose nuove e diverse, o non piuttosto l'espellere, l'allontanare da sé, il mondarsi d'una ricorrente impurità. Certo è che gli spazzaturai sono accolti come angeli, e il loro compito di rimuovere il resto dell'esistenza di ieri è circondato da un rispetto silenzioso, come un rito che ispira devozione, o forse solo perché una volta portata via la roba nessuno vuole più averci da pensare.

Dove portino ogni giorno il loro carico gli spazzaturai nessuno se lo chiede: fuori della città, certo; ma ogni anno la città s'espande, e gli immondezzei devono arretrare più lontano; l'imponenza del gettito aumenta e le cataste s'innalzano, si stratificano, si dispiegano su un perimetro più vasto. Aggiungi che più l'arte di Leonia eccelle nel fabbricare nuovi materiali, più la spazzatura migliora la sua sostanza, resiste al tempo, alle intemperie, a fermentazioni e combustioni. E' una fortezza di rimasugli indistruttibili che circonda Leonia, la sovrasta da ogni lato come un acrocoro di montagne.

Il risultato è questo: che più Leonia espelle roba più ne accumula; le squame del suo passato si saldano in una corazza che non si può togliere; rinnovandosi ogni giorno la città

conserva tutta se stessa nella sola forma definitiva: quella delle spazzature d'ieri che s'ammucchiano sulle spazzature dell'altro ieri e di tutti i suoi giorni e anni e lustri.

Il pattume di Leonia a poco a poco invaderebbe il mondo, se sullo sterminato immondezzaio non stessero premendo, al di là dell'estremo crinale, immondezzai d'altre città, che anch'esse respingono lontano da sé montagne di rifiuti. Forse il mondo intero, oltre i confini di Leonia, è ricoperto da crateri di spazzatura, ognuno con al centro una metropoli in eruzione ininterrotta. I confini tra le città estranee e nemiche sono bastioni infetti in cui i detriti dell'una e dell'altra si puntellano a vicenda, si sovrastano, si mescolano.

Più ne cresce l'altezza, più incombe il pericolo delle frane: basta che un barattolo, un vecchio pneumatico, un fiasco spagliato rotoli dalla parte di Leonia e una valanga di scarpe spaiate, calendari d'anni trascorsi, fiori secchi sommergerà la città nel proprio passato che invano tentava di respingere, mescolato con quello delle città limitrofe, finalmente mondo: un cataclisma spianerà la sordida catena montuosa, cancellerà ogni traccia della metropoli sempre vestita a nuovo. Già dalle città vicine sono pronti coi rulli compressori: per spianare il suolo, estendersi nel nuovo territorio, ingrandire se stesse, allontanare i nuovi immondezzai.»¹.

- Italo Calvino -

Gli abitanti di Leonia siamo tutti noi. Leonia è la nostra società. Come scrisse Italo Calvino, più che dalle cose che ogni giorno vengono fabbricate vendute comprate, la nostra opulenza si può misurare dalle cose che ogni giorno vengono buttate via per far posto alle nuove. I rifiuti sono diventati lo specchio della nostra anima.

La definitiva rottura fra natura ambiente, come abbiamo visto nelle pagine precedenti, è sotto gli occhi di tutti. Siamo una società aperta che depaupera l'ambiente di risorse e lo carica di rifiuti. Una città di 1.000.000 di abitanti² preleva ogni giorno dall'ambiente:

¹ Calvino I., *Le città invisibili*, Torino, Einaudi, 1972.

² Il Comune di Milano dichiara una popolazione residente di 1.306.561 persone (anno 2009).

- 11.500 tonnellate di combustibile fossile;
- 320.000 tonnellate di acqua;
- 2.000 tonnellate di materie alimentari.

Producendo:

- 1.500 tonnellate di inquinamento atmosferico;
- 300.000 tonnellate di acqua inquinata;
- 1.600 tonnellate di rifiuti solidi³.

Gli ultimi decenni hanno visto una crescita senza precedenti di popolazione, dell'economia e del benessere (anche se quest'ultimo a beneficio di una piccola parte della popolazione mondiale). Ovviamente questo ha portato a una grande consumo di risorse materiali per la realizzazione di prodotti di consumo, con il conseguente grande quantitativo di rifiuti. Secondo stime OCSE, l'estrazione mondiale di risorse è aumentata del 36% dal 1980 al 2002 e si prevede che crescerà di 48% entro il 2020, per un valore complessivo pari a 80 miliardi di tonnellate.

Anche se con molte differenze, è impossibile negare che la produzione di rifiuti sia correlata positivamente con fattori socio-economici quali il PIL e la propensione al consumo. L'obiettivo di disaccoppiamento (decoupling) del binomio crescita produttiva-generazione rifiuti, rimane a tutt'oggi un miraggio. Lo spostamento di una grande quantità di capitale dalla crescita, all'ottimizzazione e all'efficienza dei processi, potrebbe portare a una riduzione dei rifiuti prodotti. Tuttavia gli indicatori che ci dicono se la nostra economia va bene (cresce) o meno, considererebbero come negativo un sistema a "rifiuti zero". Non è quindi possibile continuare a crescere e consumare quantità sempre maggiori di prodotti e parallelamente avere una produzione di rifiuti minori. Questi potranno essere reimmessi in circolo, ma la quantità di materia in gioco è destinata a salire se l'obiettivo è soltanto quello di vendere e consumare. Anche in questo caso un'economia della decrescita, o della crescita zero, potrebbe rappresentare l'unica soluzione (vedi pagina 39).

3 Fonte: Ambiente Italia, 1995.

È pacifico che, anche in una società ideale, esisteranno beni, prodotti, e quindi rifiuti e consumi. Solo che si chiameranno in maniera diversa. Dalla parola *consumo*, che è legata a un processo lineare, “dalla culla alla tomba”, si passerà alla parola *utilizzo*, parte di un processo circolare, o “dalla culla alla culla”. Dal concetto di *rifiuto* si passerà al significato di *materia prima seconda*. Riduzione, risparmio, qualità, prenderanno il posto di crescita, consumo, e quantità: dal “più” al “meno”. Come suggerito più di 40 anni or sono da Kenneth E. Boulding (vedi pagina 31), è giunto il momento di sposare l'etica dell'astronauta.

Per puntare a questo obiettivo dobbiamo essere consapevoli dei flussi di materia e di energia che attraversano la nostra società, e delle dinamiche da mettere in atto per cercare di chiudere il ciclo, con le risorse che sono già a disposizione. In pratica, si tratta di unire la fine dei processi, il rifiuto, con l'inizio degli stessi, le risorse. È proprio per questo che molte delle possibilità di realizzare una società in equilibrio con l'ambiente, dipendono dalla gestione di quella che noi consideriamo soltanto spazzatura.

2.1.1 Il concetto di rifiuto

Il rifiuto è, almeno apparentemente, un concetto molto familiare. Per definizione, è qualcosa che non serve più e, in quanto tale, di cui il detentore si vuole disfare. Esso si trova nelle nostre mani in quanto, precedentemente, lo abbiamo estratto, lavorato, comprato, utilizzato, consumato, ma, alla fine di questo processo, la sua utilità si è esaurita. Insomma, è un bene per cui abbiamo impegnato una spesa (monetaria, di scambio, o di lavoro) ma che ha perso quelle caratteristiche che ci avevano spinto a farne uso.

Si è soliti sostenere che il concetto di rifiuto sia anti-naturale, ma in realtà non è così. Gli animali si liberano dei propri escrementi, cercando di allontanarli da sé o di nasconderli; il predatore sfamato abbandonerà la carcassa della sua preda; un nido costruito per accudire la prole verrà dimenticato alla venuta della nuova stagione

riproduttiva. Insomma è facile dimostrare che anche in natura i rifiuti esistono. Tuttavia, cioè che è scarto per un individuo, una specie, un sistema ecologico, è risorsa per un altro. Tutto è rifiuto in apparenza, ma niente lo è mai veramente. Gli escrementi concimeranno il terreno; la carcassa sarà nuovo cibo per animali definiti “spazzini” quali iene, avvoltoi, sciacalli (o, se non siamo nella Savana, insetti e batteri); il nido abbandonato verrà riutilizzato l'anno seguente, non necessariamente dagli stessi individui. Come nella catena alimentare, che ci viene insegnata alle elementari, qualsiasi processo naturale, biotico o abiotico, anche se apparentemente “aperto” fa parte di un ciclo “chiuso” più grande. In questo senso, il concetto di rifiuto in natura non esiste.

Per molti secoli è stato così anche per l'Uomo. Prima come vero e proprio animale, poi in forma societaria nei villaggi e nelle città, la saggezza popolare (e la povertà) lo ha sempre spinto a risparmiare, riusare, riciclare ogni cosa. Quando tuttavia il rilascio dei rifiuti in ambiente non era evitabile, l'impatto sull'ambiente circostante era compatibile con ciò che la natura poteva assorbire, diventandone parte. Se ciò non accadeva, il collasso era comunque limitato a scala locale. Non è necessario ribadire il motivo per il quale oggi la situazione appare completamente diversa. La quantità di rifiuti che attualmente produciamo e la potenza con la quale impattiamo a livello globale sta portando l'intero pianeta al declino. I servizi forniti dall'ecosistema Terra, limitati e colpiti dal nostro inquinamento, non sono in grado di fornirci infinite risorse e di assorbire i conseguenti scarti. Se vogliamo sopravvivere, e continuare a beneficiare di ciò che la natura ci offre, dobbiamo organizzare la maggior parte delle nostre attività secondo l'esempio dei cicli chiusi. L'umanità dovrà essere in grado di riutilizzare più e più volte ciò che estrae dall'ambiente, evitando in questo modo l'emissione di scorie nell'ambiente. Sembrerebbe che ciò sia contro le leggi della termodinamica. In realtà non è così, in quanto, come già ricordato, se saremo in grado di utilizzare solo e esclusivamente l'energia irraggiata dal Sole, potremo compiere un processo a entropia negativa, ossia a ordine crescente, recuperando all'infinito i materiali e producendo da essi nuovi prodotti.

Dalla società del consumo alla società del riuso⁴.

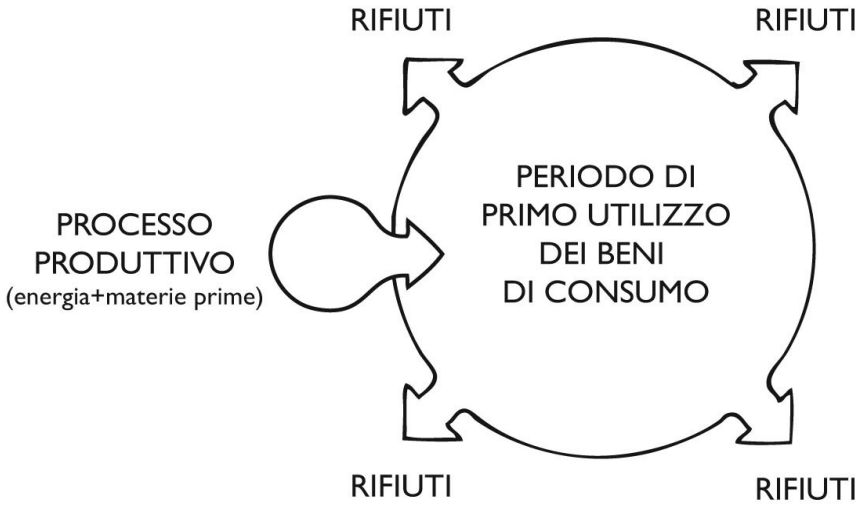


Illustrazione 9: ipotetica economia a perdita totale. Massima quantità di rifiuti prodotti.

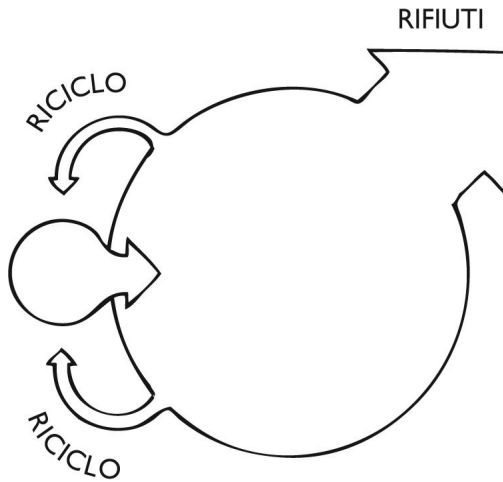


Illustrazione 10: ridotta capacità di riciclo.

⁴ Pawley M., *Garbage Housing*, Architectural press, Londra, 1975.

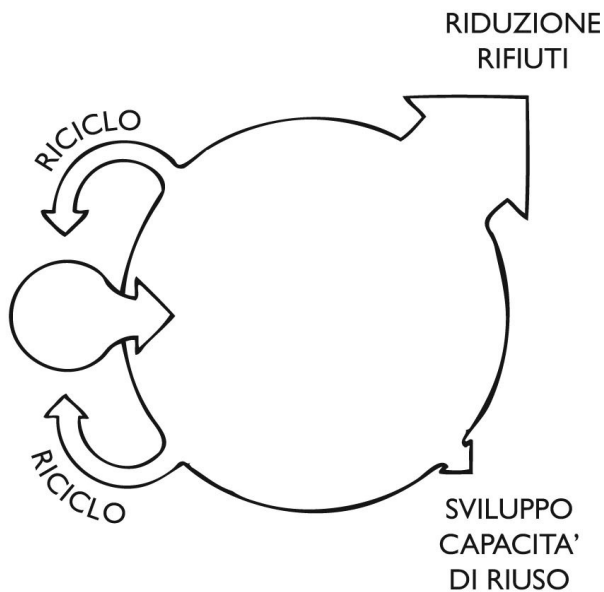


Illustrazione 11: crescente capacità di riciclo più una piccola parte di riuso.

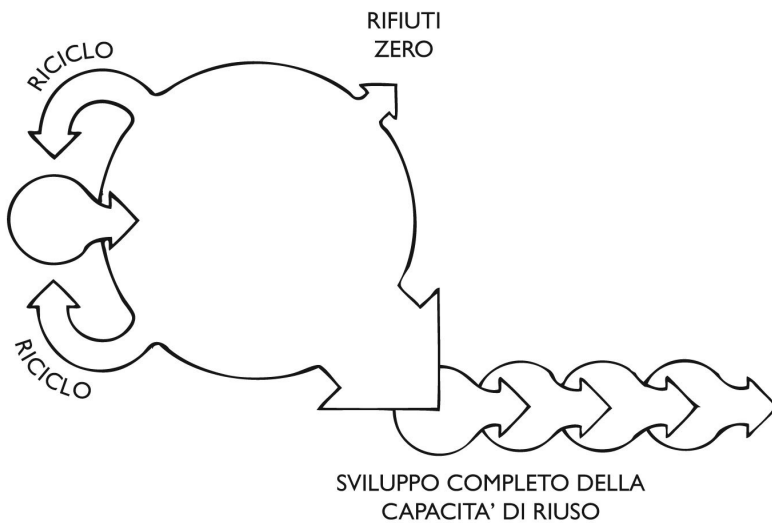


Illustrazione 12: piena capacità di riciclo più massimo riuso dei prodotti.

2.2 Gestione dei rifiuti

2.2.1 La regola delle 3R

In realtà esistono diversi approcci al problema del recupero dei rifiuti, di cui riciclo è senz'altro quello maggiormente conosciuto e sopravvalutato, essendo però l'ultimo per efficacia, nella regola delle 3R: riduco, riuso, riciclo. A livello generale questa strategia mira a ridurre la quantità e la pericolosità dei rifiuti, il loro ri-uso senza o con minimi trattamenti specifici, e infine il riciclo che prevede il recupero del materiale come materia prima seconda, potenziale risorsa da sfruttare.

2.2.1.1 Riduco

Il modo migliore, più efficace, più sostenibile, di gestire i rifiuti, è semplicemente quello di non crearli. Siamo costantemente bombardati da pubblicità che ci spingono a comprare oggetti di cui non abbiamo bisogno, e a cambiare quelli che abbiamo già, che magari funzionano benissimo. La moda uccide ogni giorno la durabilità e la qualità dei prodotti. A volte la spinta al consumo è addirittura mascherata da eco-incentivo, come nel caso della automobili⁵. Molti oggetti hanno imballaggi doppi, tripli o quadrupli, come se fossero delle scatole cinesi, che a volte raggiungono il peso di quello che dovrebbero contenere: paghiamo non solo il prodotto ma anche le sue confezioni. Tutto ciò non ha mai posseduto per l'acquirente nessuna utilità, e è quindi ancor prima dell'uso un rifiuto. Tagliando i consumi superflui, analizzando il ciclo di vita delle merci, ottimizzando i prodotti attraverso una progettazione intelligente, che con una brutta parola viene chiamato "eco-design", dettata alla naturalità dei materiali, all'efficienza dei prodotti e alla loro durabilità (e non all'obsolescenza programmata), aumentando l'efficienza dei processi industriali, riducendo scarti, e riutilizzandoli contestualmente, è possibile eliminare il problema dei rifiuti alla radice.

⁵ Cambiare automobile a una velocità tale da rispettare gli standard proposti dalla pubblicità, anche se con modelli sempre meno inquinanti, non è affatto sostenibile, in quanto per produrre una macchina viene spesa energia, che il risparmio del nuovo motore compenserà solo dopo migliaia di km.

2.2.1.2 Riuso

Il riuso ha a che fare con oggetti che sono stati prodotti e che sono arrivati alla fine della loro vita utile. Tuttavia questo non ha comportato nessuna modifica nelle loro caratteristiche merceologiche tali per cui essi debbano essere riciclati o smaltiti. Le proprietà di un oggetto costituito da un certo materiale non vengono meno una volta che il suo contenuto è disperso. Nessuno di noi getterebbe una valigia dopo il suo primo viaggio, ammesso che questa non abbia subito dei danni. Spesso invece facciamo proprio così e non ce ne rendiamo conto. Certi oggetti potrebbero essere utilizzati più e più volte prima di essere buttati. Il sistema «vuoto a rendere», o di distribuzione alla spina di detersivi, latte, pasta, ecc., permettono di riutilizzare lo stesso contenitore, che in questo modo torna utile, evitando di essere etichettato come rifiuto.

Prima o dopo tutti gli oggetti finiscono (o tornano) nell'ambiente. Utilizzare più e più volte lo stesso prodotto permette però mantenere più a lungo il suo valore, evitando la produzione, e la futura immissione in ambiente di altri oggetti. Inoltre, come vedremo più avanti nel corso di questa tesi, certi oggetti possono essere riutilizzati anche per un uso diverso da quello per cui sono stati prodotti.

Il riciclaggio con tutta probabilità non avrà mai un'efficienza pari al sistema di trattenuta di valore che è possibile attraverso l'uso secondario, e sarà intrinsecamente più costoso. Inoltre, fino a quando la raccolta differenziata non raggiungerà percentuali vicine al 100%, parti dei materiali riusabili e riciclabili finiranno per essere smaltiti. È altresì vero che il riuso appare problematico in quanto la raccolta deve essere fatta in modo da non compromettere le caratteristiche dell'oggetto in sé, e non solo del materiale da cui esso è composto. Una soluzione potrebbe essere quella del riuso da parte dell'utente, che potremmo chiamare "informale", avendo così la certezza che il valore di quegli oggetti non vada sprecato. Shigeru Ban (pagina 259) disse: «La gente mi chiede se uso i tubi di cartone per via della recente ondata di coscienza ecologica – una domanda che non finisce di sorprendermi.

Semplicemente a me non piace sprecare materiali: se riuscissimo a trovare più di due utilizzazioni per lo stesso materiale, potremmo risparmiare e migliorare l'efficienza dell'impiego delle risorse e della manodopera.»⁶.

2.2.1.3 Riciclo

Il riciclo, sostenuto da una raccolta differenziata efficiente, può recuperare i materiali di cui sono composti gli oggetti di consumo, fornendo materia prima seconda al settore produttivo. Suddivisi per tipologie omogenee, i materiali post-consumo possono essere riciclati e riutilizzati. L'industria del riciclo contribuisce in misura decisiva all'eco-efficienza generale del sistema attraverso risultati concreti in termini di risparmio energetico, sviluppo delle fonti rinnovabili e riduzione delle emissioni climalteranti⁷. L'importanza del settore del riciclo è confermata anche dalla sua crescita: mentre la produzione industriale ha subito dal 2000 al 2006 una contrazione del 1,6%, le attività di riciclaggio sono cresciute nello stesso periodo del 8,2%. L'impiego di materie prime seconde incide per oltre il 60% degli input produttivi nei metalli ferrosi e in alcuni non ferrosi. Oggi la disponibilità di materie prime secondarie a basso costo è fondamentale per molti settori industriali e l'emergere dei paesi asiatici nell'economia globale richiede molto più di ieri grandi quantità di materie prime e secondarie. Tuttavia, la crisi economica e finanziaria in atto ha prodotto un calo dei prezzi delle *commodities*, causando di conseguenza anche la diminuzione dei prezzi dei materiali riciclabili.

2.2.2 Smaltimento

Potrà sembrare strano, ma fin da piccolo mi sono sempre chiesto come potessero funzionare le discariche, in quanto prima o dopo si sarebbero completamente

⁶ Shigeru Ban, *L'anima del Giappone*, in Lotus, n°3, luglio 2001.

⁷ Il DM 8 maggio 2003, n. 203, relativo alla fissazione dei criteri e delle indicazioni in base alle quali le regioni adottino disposizioni, destinate agli uffici e agli enti pubblici, affinché coprano almeno il 30% del loro fabbisogno annuale con manufatti e beni realizzati con materiali riciclati.

riempite, un po' come faceva il mio cestino di casa. La cosa che non riesco a comprendere è come e dove, si sarebbero andati a sistemare i rifiuti una volta che tutte le discariche del mondo fossero state sature. Avevo persino proposto di lanciare i rifiuti nello spazio per risolvere il problema. Abbandonando queste reminiscenze d'infanzia, la soluzione alle discariche esiste, e, data l'intrinseca insostenibilità del sistema aperto che esse rappresentano, è una sola: una società a rifiuti zero. Persino la nostra legislazione sottolinea come il conferimento in discarica debba essere inteso solo come un'ipotesi residuale, nel caso in cui altro tipo di recupero non sia possibile. Considerando che, qualora la politica facesse il suo dovere, il recupero di materia è nella stragrande maggioranza dei casi tecnicamente fattibile e economicamente conveniente, l'obiettivo da raggiungere è quindi quello di abbandonare la discarica come possibilità di gestione del rifiuto, cercando invece di recuperarlo, inserendolo di nuovo nel sistema di produzione o d'uso.

Il conferimento in discarica o l'incenerimento⁸ (due modalità che in Europa ricoprono più del 60% dei rifiuti gestiti) hanno conseguenze ambientali gravi, specie nel caso di discariche non adeguatamente controllate, che sono causa di inquinamento atmosferico, degrado del suolo, dispersione di sostanze chimiche pericolose nei corpi idrici superficiali e sotterranei, danni alla salute dell'uomo. Inoltre presentano un grave segno nel territorio in cui sono inserite, aumentando il degrado reale e percepito da parte della popolazione.

2.2.3 Inceneritore (o termovalorizzatore?)

La legge nazionale comprende l'incenerimento con recupero termico, fra le attività di recupero dei rifiuti. Anche se il recupero di materia è sovraordinato a quello di energia (questo starebbe a significare che l'incenerimento non dovrebbe mai essere impiegato, tranne che in casi di vera emergenza), esso deve essere compreso sotto alla categoria dello smaltimento, e non del recupero. Infatti a livello europeo, lo

⁸ A differenza di quanto previsto dalla legge, comprendo fra lo smaltimento l'attività di incenerimento con recupero termico, per motivi che spiegherò successivamente.

smaltimento tramite incenerimento di rifiuti in impianti dedicati, come ha stabilito un voto del Parlamento europeo del 2006, non è assimilabile al concetto di recupero d'energia, che così viene spacciato a livello nazionale. Questo riguarda invece il recupero della frazione combustibile residua, in sostituzione di combustibili fossili a servizio di processi industriali, o la produzione di metano dalla digestione anaerobica di reflui organici. Per recuperare energia dai rifiuti, la soluzione migliore sono gli impianti di trattamento anaerobico della frazione umida raccolta in modo differenziato (da cui si ricavano biogas e fertilizzanti), mentre per lo smaltimento del residuo è meglio utilizzare impianti di trattamento meccanico biologico (TMB)⁹.

Gli inceneritori con recupero energetico, sono impianti che utilizzano rifiuti (generalmente i rifiuti solidi urbani, che trattati adeguatamente vengono definiti CDR, ovvero combustibile derivato dai rifiuti) come combustibile per produrre calore o energia elettrica. I detrattori di questa strategia sostengono che:

- per bruciare 1 tonnellata di rifiuti serve più energia di quella prodotta dalla stessa tonnellata;
- per bruciare è necessario l'uso di altre sostanze aggiuntive, come gesso e acqua, che aumentano la massa iniziale dei rifiuti. In particolare, per una tonnellata di rifiuti da bruciare vengono prodotti 300 Kg di ceneri solide, 30 Kg di ceneri volanti, 25 Kg di gesso, 650 Kg di acqua inquinata;
- al termine della combustione, la quantità di materia prodotta è doppia rispetto a quella iniziale, anche se la maggior parte non si vede a occhio nudo;

Oltre a questo, il termine *terovalorizzatore*, parola usata comunemente, non solo non trova traduzioni in altre lingue dell'Unione Europea, ma non compare nemmeno in alcun dizionario, e cosa ancora più strana, in nessuna norma riguardante gli inceneritori. Tutto ciò sembra attribuire alla nascita di questa parola uno scopo puramente pubblicitario e di “green-washing” del termine inceneritore, stante poi a

⁹ Pallante M., a cura di, *Un programma politico per la decrescita*, Edizioni per la decrescita felice, Roma, 2008

indicare la stessa identica cosa. Secondo una corretta gestione dei rifiuti gli unici modi per "valorizzare" un rifiuto dovrebbero essere il riuso ed il riciclo, mentre l'incenerimento (anche se con recupero energetico) costituirebbe semplice smaltimento. Il riciclo fa risparmiare molta più energia di quanta ne potrebbe essere prodotta attraverso un inceneritore e è sicuramente meno inquinante.

Oltre a produrre fumi e polveri¹⁰, gli impianti di incenerimento non eliminano la necessità di discariche, in quanto hanno sempre un residuo post-combustione dell'ordine del 30% rispetto a ciò che è stato bruciato. Queste sostanze non sono innocue come i rifiuti che sono arrivati all'impianto, ma sono tossiche e devono essere smaltite come rifiuti pericolosi. Come se tutto ciò non bastasse, studi sul settore, pubblicati dal Wall Street Journal nel 1993, hanno dimostrato come bruciare i rifiuti sia il metodo più costoso di smaltimento. In effetti, ogni inceneritore, anche in Italia, è in vita grazie a sussidi pubblici per le energie rinnovabili e *assimilate*, che noi paghiamo attraverso le bollette ENEL¹¹. Oltre a essere poco intelligente (e contro la legge) bruciare qualcosa soltanto perché non sono stato in grado, o non ho voluto, recuperarla, come ci suggerisce per l'ennesima volta la termodinamica, non si può sfuggire al principio «nulla si crea, nulla si distrugge». Prendendo la quantità in ingresso, e sottraendole il residuo della combustione e ciò che viene fermato nei filtri al camino, tutto il resto è stato disperso in aria. La materia (come l'energia) non può essere distrutta, per cui ciò che viene bruciato finisce nuovamente nell'ambiente, e prima o dopo nei nostri polmoni o nel nostro cibo.

10 Per ogni tonnellata bruciata vengono prodotte 38 mg di polveri, 58 mg di acido cloridrico, 577 mg di ossidi d'azoto, 134 mg di ossidi di carbonio, 400 ng di diossine. Ancora aperto risulta il dibattito sull'emissione di nanoparticelle inorganiche, così piccole da non poter essere filtrate, che una volta inalate si depositano stabilmente nell'organismo e nel tempo possono provocare anche patologie gravissime.

11 L'Unione Europea ha inviato un'infrazione all'Italia per gli incentivi dati dal governo italiano per produrre energia bruciando rifiuti inorganici e considerandola come "fonte rinnovabile".

2.3 Rifiuti e clima

Il settore dei rifiuti non incide solo indirettamente sulle emissioni, ossia a causa dell'impiego di energia richiesta per l'estrazione di nuove materie prime dall'ambiente nel caso di mancato recupero, ma anche direttamente, a causa dell'energia spesa per la gestione (come lo smaltimento). Secondo stime dell'IPCC, i rifiuti generati dall'attività di consumo apportano un contributo minimo alle emissioni globali di GHG (<5%), ma in ogni caso una corretta gestione del settore può contribuire positivamente alla mitigazione dei GHG a basso costo e promuovere lo sviluppo sostenibile, migliori condizioni di salute e sicurezza pubbliche, protezione del suolo e la prevenzione dell'inquinamento. La minimizzazione e il riciclo dei rifiuti forniscono importanti benefici indiretti di mitigazione attraverso la conservazione dell'energia e delle materie prime. Uno studio commissionato dall'Unione Europea alla società di ricerca Aea Technology-Environment, ha stabilito che riciclare e compostare una tonnellata di materiali post-consumo consente di ridurre le emissioni di gas serra di 461 kg. È vero altresì che la mancanza di capitali locali è una limitazione chiave per la gestione dei rifiuti e delle acque reflue nei paesi in via di sviluppo e nei paesi con economia in transizione, così come la mancanza di esperienza sulle tecnologie sostenibili.

Per quanto riguarda l'Europa, la EEA ha stimato che le emissioni di gas serra derivanti dalla gestione di rifiuti costituivano, nel 2005, il 2% delle emissioni totali dell'UE. Strategie per contribuire agli obiettivi di riduzione fissati, sono la corretta gestione delle discariche, attraverso il recupero di metano e evitando che rifiuti biodegradabili finiscano in discarica. Secondo le previsioni dell'Agenzia, le emissioni di gas serra, dovrebbero scendere dal livello massimo di 55 milioni di tonnellate di CO₂ equivalenti calcolato alla fine degli anni '80 a circa 10 milioni entro il 2020. L'aumento complessivo dei rifiuti prodotti verrà compensato da un aumento del riciclaggio e dell'incenerimento con recupero di calore, che porteranno a una diminuzione delle

emissioni di CO₂. I soli usi energetici ambientalmente competitivi con il riciclo (e, in assoluto, vantaggiosi sotto il profilo ambientale) saranno gli usi “sostitutivi” dei combustibili più inquinanti, in particolare del carbone, o di fonti fossili (con l'uso di biomasse ligno-cellulosiche). Con il riuso delle materie nei processi produttivi si ha inoltre una forte diminuzione della CO₂ e dei gas climalteranti prodotti rispetto a quelli che si produrrebbero utilizzando materie vergini. Si stima una minore produzione di CO₂ variabile tra 31 e 88 milioni di tonnellate, concentrata in particolare nei settori dell'acciaio e dell'alluminio, con una minore produzione media di 40 milioni di tonnellate di CO₂ (il 74% del totale risparmiato dal settore del recupero), e una minore produzione di CO₂ di 5,4 milioni di tonnellate, per il settore della carta e cartone.

2.4 Assetto normativo

Dal punto di vista normativo, la gestione dei rifiuti è materia relativamente recente. Come per le altre norme riguardanti la disciplina del diritto ambientale, essa può essere collegata alla nozione di «ambiente salubre», connessa a valori costituzionali primari, quali espressi dagli artt. 9 e 32 Cost.¹². Tuttavia, fino a non molto tempo fa, la materia era caratterizzata da un quasi totale vuoto normativo. L'unica legge a riguardo, n.366 del 1941, individuava già all'epoca della sua emanazione i principi fondamentali della tutela ambientale e del recupero e riutilizzo dei materiali, anche se non ebbe mai concreta attuazione, nei suoi punti essenziali. La gestione rimase affidata per lungo tempo a regolamenti e atti degli enti locali a tutela dell'igiene pubblica. Solo nel 1977, con la seconda fase dei trasferimenti alle regioni, si definì per la prima volta, un settore di competenze esteso stavolta alla materia dei rifiuti sia urbani sia industriali.

La principale direttiva europea sui rifiuti, che ha stimolato lo stato italiano a emanare delle leggi importanti sulla disciplina, è la n. CEE 91/156. Questa ha la forma di una normativa quadro e fissa alcuni principi e obiettivi che gli stati Membri sono tenuti a perseguire. La definizione di rifiuto usata è la seguente: «qualsiasi sostanza o oggetto [...] di cui il detentore si disfi o abbia deciso di disfarsi». Gli obiettivi fissati sono la prevenzione o riduzione della produzione o della nocività dei rifiuti e il recupero dei rifiuti come materie prime seconde, mediante riciclo, reimpiego, riutilizzo. Ovviamente ogni operazione deve essere eseguita senza arrecare pericolo per la salute umana e per l'ambiente. Essa stabiliva che il costo delle attività di recupero o smaltimento dovesse ricadere sul detentore del rifiuto o sul produttore dello stesso, secondo il principio *chi inquina paga*.

Con il D.Lgs 5 febbraio 1997, n.22 (cd. Decreto Ronchi, dal nome del ministro

¹² Art. 9 Cost., comma 2: «[La Repubblica] Tutela il paesaggio e il patrimonio storico e artistico della Nazione.».

Art. 32 Cost., comma 1: «La Repubblica tutela la salute come fondamentale diritto dell'individuo e interesse della collettività, e garantisce cure gratuite agli indigenti.».

competente), si attuarono le direttive europee in materia di rifiuti¹³, nella legislazione nazionale, comprendendo e abrogando molteplici leggi succedutesi nel tempo. Questa norma definiva gli aspetti fondamentali della materia, enunciando i principi generali, le competenze dei vari soggetti, la pianificazione della gestione e la materia delle autorizzazioni e iscrizioni di chi intende realizzare impianti e attività di recupero o smaltimento. La definizione di rifiuto viene ampliata qualificando «qualsiasi sostanza od oggetto [...] di cui il detentore si disfi o abbia deciso o abbia l'obbligo di disfarsi». Questa nozione di rifiuto (vigente ancora oggi) è più ampia di quella precedentemente enunciata dal d.p.r. n. 915/1982, in quanto aggiunge anche l'obbligo giuridico. Si esclude dalla nozione di rifiuto tutti i sottoprodotti di lavorazioni, il cui riutilizzo è certo, senza trasformazione preliminare, nel corso del processo di produzione.

La differenza sostanziale di questo decreto rispetto alla normativa precedente, secondo quanto asserito dalle direttive europee, è la enucleazione delle priorità fra i principi in materia di gestione dei rifiuti. Lo smaltimento diventa la fase residuale di tutto il processo, limitata per legge soltanto a quei rifiuti non riutilizzabili, riciclabili o recuperabili, individuando la priorità nella prevenzione e la riduzione della produzione e della pericolosità dei rifiuti, dopodiché procedendo attraverso il recupero degli stessi, e infine lo smaltimento. Prevenzione, recupero, smaltimento: queste sono le nuove fasi del processo di gestione dei rifiuti istituito con il Decreto Ronchi, individuando quindi nel rifiuto un prodotto potenzialmente capace di divenire una risorsa, una merce. Da sottolineare come l'incenerimento venga ricompreso nella fase di smaltimento, al pari di quanto detto nelle pagine precedenti, con il conferimento del rifiuto in discarica.

Fra le categorie di rifiuti assume una rilevanza primaria quella degli imballaggi¹⁴. La specifica trattazione degli imballaggi è derivata dalla constatazione che questi

13 Direttiva 91/156/CEE sui rifiuti, direttiva 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi, direttiva 94/62/CEE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio.

14 L'imballaggio è quel prodotto adibito a contenere e a proteggere determinate merci, a consentire la loro manipolazione e consegna dal produttore al consumatore o all'utilizzatore, e a assicurare la loro presentazione, nonché gli articoli a perdere usati allo stesso scopo.

producono un ingente quantità di rifiuti, anche nocivi. L'obiettivo di tutta la disciplina è diretta alla promozione della prevenzione e del recupero e riciclaggio degli imballaggi. Sempre secondo il principio chi inquina paga i costi per la gestione di questi rifiuti sono a carico dei produttori e degli utilizzatori. Infine, con lo scopo di raggiungere obiettivi di recupero e riciclaggio previsti dalla legislazione europea e recepiti in Italia attraverso il Decreto Ronchi, è costituito il CONAI (Consorzio Nazionale Imballaggi), consorzio privato senza fini di lucro costituito dai produttori e utilizzatori di imballaggi. Il Consorzio si raccorda all'amministrazione per il ritiro dei rifiuti provenienti da raccolta differenziata, elabora un programma generale per la prevenzione degli imballaggi, definisce gli ambiti territoriali del sistema integrato di gestione.

Altre disposizioni comprese nel decreto erano la classificazione dei rifiuti secondo l'origine e la pericolosità (differenziandoli in rifiuti urbani, speciali, pericolosi e rifiuti di imballaggio), il principio di divieto di abbandono dei rifiuti, il principio della pianificazione della gestione dei rifiuti e soprattutto la previsione della raccolta differenziata, al fine di valorizzare sin dall'inizio le componenti merceologiche dei rifiuti. Purtroppo l'obiettivo del Decreto Ronchi di escludere lo smaltimento in discarica già dall'anno 2000, salve per certe circoscritte tipologie di rifiuti, fu però troppo ambizioso e in concreto non realizzabile.

Il D.Lgs 3 aprile 2006, n. 152, denominato "codice dell'ambiente", si inserisce in questo quadro normativo con lo scopo principale di riorganizzare, riordinare e aggiornare la normativa sull'ambiente,¹⁵ e a sua volta abroga il Decreto Ronchi. Le norme riguardanti la gestione dei rifiuti sono contenute negli articoli da 177 a 238 della parte quarta del suddetto decreto. Gli obiettivi da ricomprendere in questo Decreto, sono stabili dalla legge delega 15 dicembre 2004, n.308 e si richiamano in particolare:

- l'ottimizzazione quantitativa e qualitativa della produzione di rifiuti;
- la promozione della conversione e del riciclo dei rifiuti;

¹⁵ A sua volta sottoposto a una revisione complessiva con il D.Lgs 4/2008.

- l'operatività e l'efficienza del sistema di riciclaggio, di raccolta e di smaltimento.

La gestione dei rifiuti (raccolta, trasporto, recupero e smaltimento), dovrà essere prioritariamente indirizzata alla prevenzione e riduzione della produzione (attraverso promozione e strumenti economici) e della nocività dei rifiuti, al recupero di materiali dai rifiuti (separando le frazioni pericolose e attraverso la raccolta differenziata), al trattamento del rifiuto residuo (riuso, riciclaggio con recupero di materia o di energia¹⁶). Sotto l'ombra del Decreto Ronchi e delle direttive europee, anche il Testo Unico sull'ambiente qualifica lo smaltimento come fase residuale a cui si ricorrerà «solo previa verifica dell'impossibilità tecnica e economica di esperire le operazioni di recupero». In pratica, anche secondo la normativa attualmente vigente, con una raccolta differenziata spinta e una gestione accurata, si prevede l'abbandono dello smaltimento in discarica¹⁷.

Viene anche ribadito il principio secondo il quale il costo dello smaltimento non può essere sopportato, in tutto o in parte, dalla collettività. Permane la classificazione effettuata secondo l'origine (rifiuti urbani e speciali) e secondo le caratteristiche di pericolosità (rifiuti pericolosi e non)¹⁸. Viene fornita la definizione di gestione

16 Il D.Lgs 36/2003 prescrive il divieto di smaltire in discarica rifiuti con Potere Calorifico Inferiore più alto di 13.000 kJ/kg.

17 Addirittura, nel comma 1109, dell'art. 1, della legge finanziaria 296/2006 viene sottolineato come l'obiettivo da raggiungere dopo le percentuali prefissate per il 2011, è di ridurre progressivamente i rifiuti da conferire in discarica, nella prospettiva di una società a «Rifiuti zero».

18 Rifiuti urbani

- rifiuti domestici, anche ingombranti, provenienti da locali e luoghi adibiti ad uso di civile abitazione;
- rifiuti non pericolosi provenienti da locali e luoghi adibiti ad usi diversi da quelli di cui alla lettera a), assimilati ai rifiuti urbani per qualità e quantità;
- rifiuti provenienti dallo spazzamento delle strade;
- rifiuti di qualunque natura o provenienza, giacenti sulle strade ed aree pubbliche o sulle strade ed aree private comunque soggette ad uso pubblico o sulle spiagge marittime e lacuali e sulle rive dei corsi d'acqua;
- rifiuti vegetali provenienti da aree verdi, quali giardini, parchi e aree cimiteriali;
- rifiuti provenienti da esumazioni ed estumulazioni, nonché gli altri rifiuti provenienti da attività cimiteriale diversi da quelli di cui alle lettere b), c) ed e).

Rifiuti speciali

- rifiuti da attività agricole e agro-industriali;
- rifiuti derivanti dalle attività di demolizione, costruzione, nonché i rifiuti che derivano dalle attività di scavo;

integrata dei rifiuti, come il «complesso delle attività volte a ottimizzare la gestione dei rifiuti».

Per raggiungere tale scopo vengono costituiti Ambiti Territoriali Ottimali (ATO), che potranno anche non coincidere con l'ambito provinciale, come avveniva con il decreto Ronchi. Nel Piano regionale dei rifiuti le regioni individueranno la delimitazione territoriale di questi ATO. L'Autorità d'ambito (AATO) sono l'organo di governo del servizio di gestione integrata dei rifiuti, al quale gli Enti Locali partecipano obbligatoriamente e ai quali è trasferito l'esercizio delle loro competenze e delle attività di gestione. Oggi quindi gli Enti Locali sono titolari delle funzioni ma devono esercitarle attraverso tale soggetto giuridico autonomo e terzo rispetto agli Enti Locali, costituito in una delle forme di cooperazione (Consorzio, convenzione, ecc.) individuate con disposizione regionale e che non solo ha il compito di organizzare, affidare e controllare la gestione del servizio, ma anche di svolgere talune funzioni a esso delegate.

Attraverso appositi Piani d'ambito vengono fissati obiettivi da raggiungere per garantire al gestione secondo criteri di efficienza, efficacia, economicità e trasparenza, e le attività di gestione verranno affidate attraverso gare a evidenza pubblica. I comuni concorrono alla gestione attraverso regolamenti coerenti con i piani d'ambito. Nel caso in cui gli obiettivi previsti dalla normativa sulla raccolta differenziata non venissero conseguiti, è previsto che sia applicata un'addizionale del 20% al tributo dovuto per il conferimento in discarica a carico dell'Autorità d'ambito, che ne ripartisce l'onere tra quei Comuni che non abbiano raggiunto le percentuali previste.

-
- c) rifiuti da lavorazioni industriali;
 - d) rifiuti da lavorazioni artigianali;
 - e) rifiuti da attività commerciali;
 - f) rifiuti da attività di servizio;
 - g) rifiuti derivanti dalle attività di recupero e smaltimento di rifiuti, fanghi prodotti dalla potabilizzazione e da altri trattamenti delle acque e dalla depurazione delle acque reflue e da abbattimento di fumi;
 - h) rifiuti derivanti da attività sanitarie;
 - i) macchinari e apparecchiature deteriorati ed obsoleti;
 - j) veicoli a motore, rimorchi e simili fuori uso e loro parti;
 - k) combustibile derivato da rifiuti.

Tuttavia il quadro appena delineato è destinato a cambiare, in quanto con la legge 42/2010 vengono soppresse dal 1 gennaio 2011 le Autorità d'Ambito Territoriale, con l'attribuzione da parte delle Regioni, mediante legge, delle funzioni esercitate dagli ATO a nuovi soggetti. A titolo di esempio, la Regione Lombardia individua nelle province l'Ente a cui attribuire le funzioni amministrative soppresse agli AATO. Il taglio a questo Ente, avvenuto in un'ottica di risparmio nelle casse dello stato, riporta il quadro a quanto previsto nel Decreto Ronchi.

Il panorama legislativo comunitario è stato ulteriormente rinnovato e integrato con la direttiva 2008/98/CE, che ha aggiornato la definizione di rifiuto (così come presente nel T.U. sull'ambiente italiano). La nuova direttiva quadro sui rifiuti, riprendendo e ampliando i precedenti atti normativi europei, individua la seguente gerarchia in materia di prevenzione e gestione dei rifiuti: a) prevenzione b) preparazione per il riutilizzo c) riciclaggio, d) recupero di altro tipo, per esempio di energia e) smaltimento. L'articolo 11 prevede che gli Stati Membri si adoperino entro il 2020 a) un aumento complessivo, sino a un valore pari almeno a 50%, del recupero dei rifiuti domestici, b) e fino al 70% di rifiuti da demolizione. Gli Stati Membri dovranno impegnarsi affinché i materiali riciclabili non finiscano né in discarica né a recupero energetico. Questa direttiva mira alla riduzione degli impatti ambientali negativi generati dai rifiuti lungo il corso della loro esistenza, dalla produzione al riciclaggio, sino allo smaltimento finale. Tale approccio, basato principalmente sull'impatto ambientale e sul ciclo di vita delle risorse, permette di considerare i rifiuti non solo come fonte d'inquinamento da ridurre, ma soprattutto come potenziale risorsa da sfruttare. Gli Stati Membri sono quindi tenuti a limitare la formazione di rifiuti, promuovendo in particolare le tecnologie pulite e i prodotti riciclabili e riutilizzabili.

2.5 Dati

2.5.1 Europa

Secondo le stime Eurostat, nel 2007, in UE(27) si sono prodotte un totale di circa 2.767 milioni di tonnellate di rifiuti, di cui 1.914 milioni nell'UE(15), circa il 70% del totale. Paesi come Francia, Romania, Germania e Regno Unito risultano produrre più di 300 milioni di tonnellate ciascuno. 5 Stati Membri (Germania, Regno Unito, Francia, Italia e Spagna) producono circa il 67,5% dei 258 milioni di tonnellate di rifiuti urbani prodotti nel 2007 nei 27 Paesi membri dell'Unione.

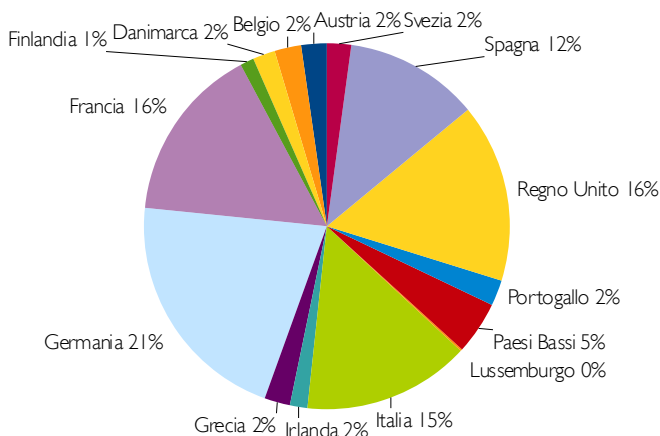


Grafico 26: produzione di rifiuti urbani in UE(15), 2007. (Fonte: EUROSTAT)

La quantità di rifiuti pericolosi prodotta, circa il 2,7% dei rifiuti totali, ammonta a circa 74 milioni di tonnellate per i 27 Stati membri, di cui ben 58,8 generate nell'UE 15. I rifiuti urbani, costituiscono circa il 14% del totale dei rifiuti prodotti in ambito europeo e ammonta a circa 258 milioni di tonnellate, a fronte di una quota di circa il 29% attribuibile al settore estrattivo e di circa il 26% a quello manifatturiero.

La serie storica dei dati Eurostat relativi agli anni 1995-2007 mostra una leggera ma costante crescita della produzione dei rifiuti urbani negli Stati UE (15), correlabile con

l'aumento della ricchezza, del reddito disponibile dei consumatori, e all'adozione di standard di vita che richiedono progressivamente un maggior utilizzo delle risorse naturali. Dal 1995 al 2007, considerando l'UE 25, si è registrato un aumento di circa 32 milioni di tonnellate, corrispondenti a un incremento del 14%.

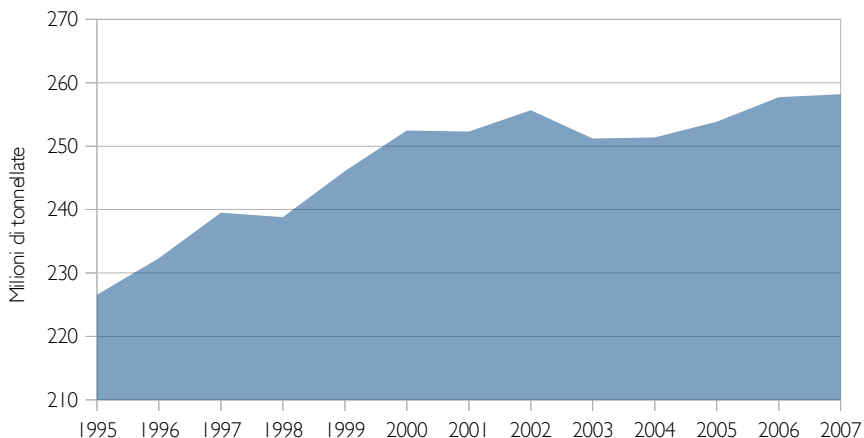


Grafico 27: produzione rifiuti urbani UE(27). (Fonte: EUROSTAT)

Un ruolo particolarmente importante, nell'ambito dei rifiuti urbani, è ricoperto dai rifiuti di imballaggio, oggetto di specifici obiettivi di riciclaggio e recupero, aggiornati con la Direttiva 2004/12/CE. Nel 2007 la produzione di rifiuti di imballaggio nei paesi UE(27) ha raggiunto circa 81,7 milioni di tonnellate, corrispondenti a circa un terzo dei rifiuti urbani prodotti. Nel periodo 1997-2007, l'incremento della produzione dei rifiuti di imballaggio raggiunge i 13 milioni di tonnellate (+19 %), passando da un totale di 59,8 milioni di tonnellate a circa 73,8. I quantitativi complessivamente recuperati, nell'UE 27, ammontano a circa 59,1 milioni di tonnellate, corrispondenti a circa il 72,3 % del totale immesso sul mercato nel 2007 (il riciclo raggiunge circa il 58,5% dell'immesso, mentre la restante parte è da attribuire all'incenerimento con recupero di energia). La frazione merceologica più rilevante nei 27 Stati membri risulta essere quella costituita dagli imballaggi cellulósici, che registra una produzione di rifiuti, per l'anno 2007, pari a circa 32 milioni di tonnellate, corrispondenti al 40 %

del totale dei rifiuti generati. Tuttavia questa è anche la frazione con i migliori risultati di recupero, pari a un totale dell'87,1% rispetto all'immesso al consumo, di cui il 76,7% avviati a riciclaggio. Secondo la Direttiva 2004/12/CE per il 2008, sono 14 gli Stati Membri (fra cui l'Italia) che hanno già raggiunto gli obiettivi prefissati, ossia di recuperare almeno il 60% in peso dei rifiuti di imballaggio e riciclarne almeno il 55%.

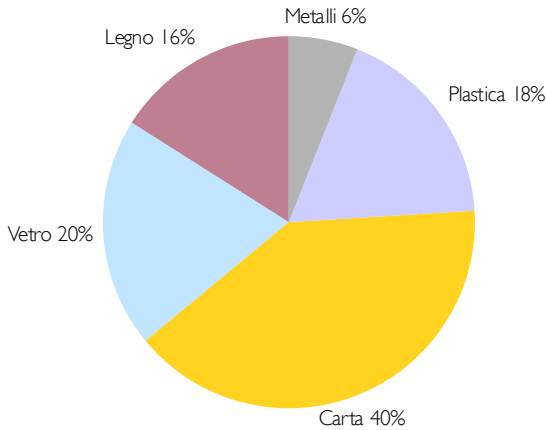


Grafico 28: produzione dei rifiuti di imballaggio nei Paesi UE(27), 2007. (Fonte: EUROSTAT)

Prendendo in considerazione i paesi UE(15), la produzione *pro capite* di rifiuti urbani ha raggiunto un valore medio di circa 563 kg per abitante, mostrando di essere aumentata, nel periodo 1995-2007, di circa l'11,3%. L'EEA prevede che nel 2020 si arriverà a 680 kg/anno.

Nel 2007, circa il 42 % dei rifiuti urbani gestiti è stato smaltito in discarica, il 20 % è stato avviato ad incenerimento mentre il 38% è stato avviato a riciclaggio (incluso il compostaggio ed il trattamento meccanico biologico). Anche se con molte differenze fra stato e stato (che possono variare da un 10% a un 80% dei rifiuti smaltiti in discarica) e con un trend di decrescita nel periodo 1995-2007, le discariche, che sono l'opzione meno adeguata dal punto di vista ambientale, rappresentano la via di gestione ancora maggiormente utilizzata, soprattutto nei nuovi paesi membri.

Rifiuti | capitolo 2

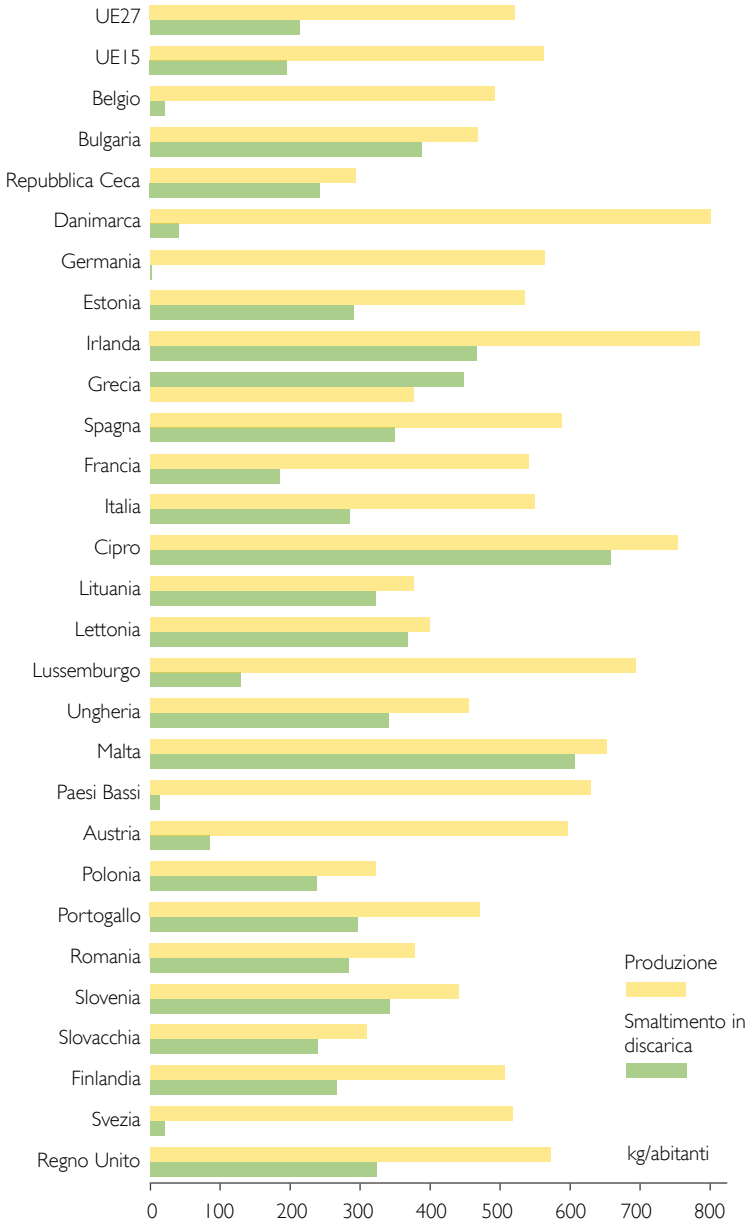


Grafico 29: produzione e smaltimento in discarica pro capite di rifiuti urbani nell'UE(27), 2007.

(Fonte: Eurostat, 2009)

2.5.2 Italia

2.5.2.1 Produzione

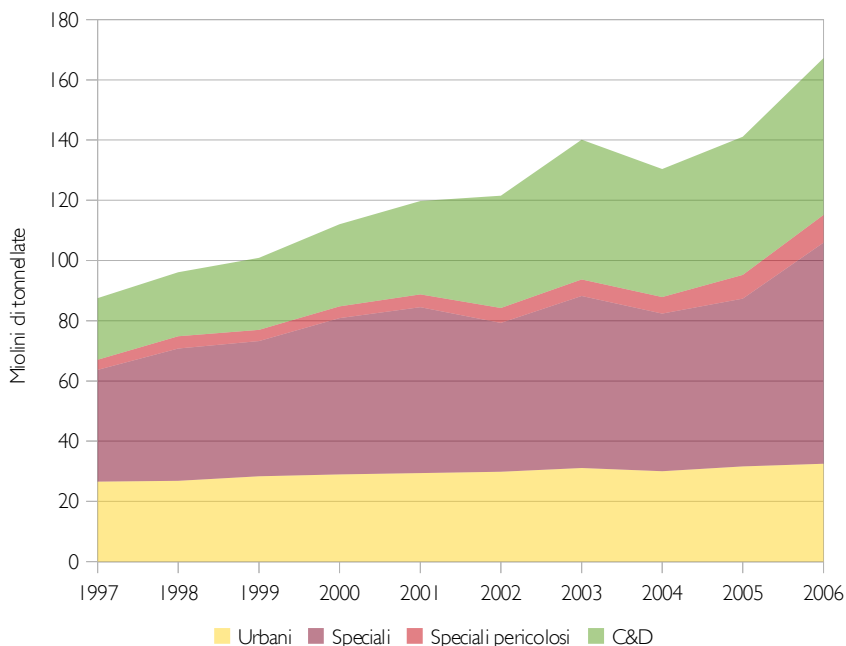


Grafico 30: produzione nazionale di rifiuti. (Fonte: ISPRA)

Il quantitativo di rifiuti prodotti nel 2006 si attesta a circa 167 milioni di tonnellate, di cui quasi 135 milioni di tonnellate (80%) costituiti da rifiuti speciali, e di cui il 6,8% pericolosi (9,16 milioni di tonnellate). Quest'ultimi hanno un trend di crescita molto più elevato di quello riguardante i rifiuti urbani. I dati relativi ai primi, infatti, presentano un incremento, nel biennio 2005-2006, del 32% dei rifiuti speciali non pericolosi, esclusi i C&D¹⁹, una crescita del 16% dei rifiuti speciali e pericolosi (9,2 milioni di tonnellate in totale), e un incremento dei rifiuti speciali non pericolosi da C&D pari al 13,6%.

¹⁹ Inerti non pericolosi da costruzione e demolizione.

Il maggior contributo nella produzione complessiva dei rifiuti speciali è da ascrivere alla categoria delle costruzioni, con un quantitativo pari a 52,4 milioni di tonnellate, il 38,9% del totale prodotto. Seguono le attività manifatturiere, con un quantitativo di oltre 50 milioni di tonnellate (37,2%), che hanno l'infausto primato nella produzione di rifiuti pericolosi con 6,5 milioni di tonnellate, pari al 70,6% del totale prodotto.

La produzione nazionale dei rifiuti urbani si attesta, nell'anno 2008, a circa 32,5 milioni di tonnellate mostrando, rispetto al 2007, una leggera contrazione (-0,2%), che fa seguito alla sostanziale stabilità già riscontrata tra il 2006 ed il 2007. Dopo un lungo periodo di crescita (+8,4%, 2003-2007) si assiste, dunque, a un'inversione di tendenza. Le motivazioni possono essere molteplici. Il diffondersi di strumenti di tariffazione puntuale dei servizi di raccolta, e l'attivazione di servizi per limitare l'impresso al consumo dei prodotti (sistemi di erogazione alla spina, contenitori a rendere, imballaggi riutilizzabili, compostaggio domestico, ecc.) possono avere influenzato il dato di produzione. Tuttavia la causa maggiore sembra essere la leggera

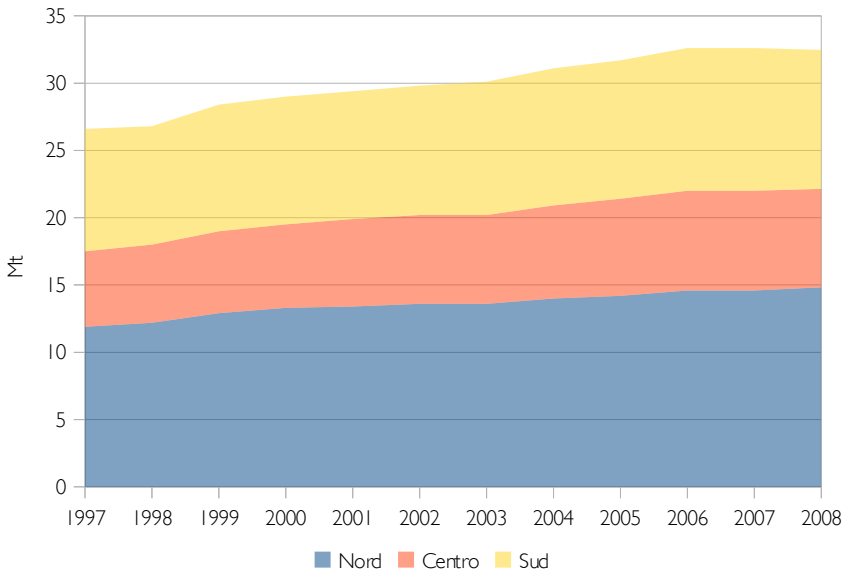


Grafico 31: produzione di rifiuti urbani. (Fonte: ISPRA 2009)

flessione del PIL e del potere di acquisto delle famiglie²⁰, che si è attestata a -1% tra il 2007 e il 2008, portando a una inevitabile riduzione dei consumi. L'analisi per macroarea geografica mostra un calo di produzione al Sud (-2,2 %) e nel Centro (-0,7%), mentre il Nord appare in controtendenza con un +1,5%.

Per quanto riguarda la produzione pro capite²¹, si rileva, nel 2008, una contrazione rispetto al 2007, in linea con il calo riscontrato fra il 2006 e il 2007. Nell'ultimo anno (2008) infatti, il dato di produzione pro capite si attesta su 541 kg/abitante (media UE(15) pari a 563 kg/abitante), a fronte di un valore di 546 kg/abitante e 550 kg/abitante riscontrati rispettivamente nel 2007 e nel 2006. Più precisamente il Nord si attesta su 541 kg/abitante, 619 kg/abitante al Centro e 496 kg/abitante al Sud.

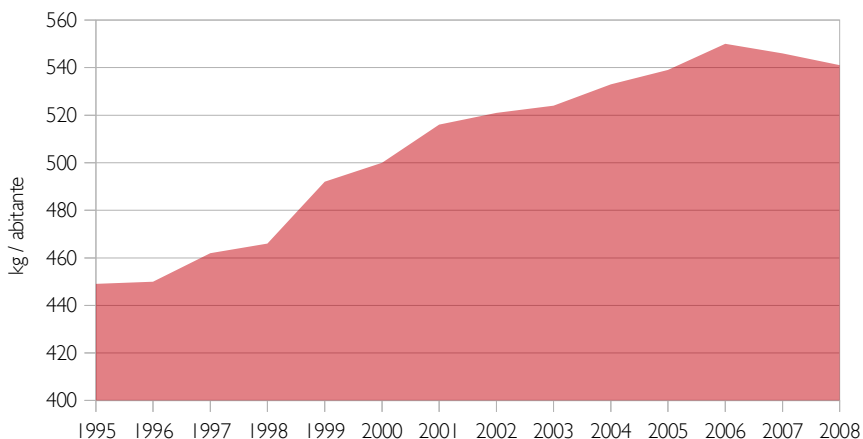


Grafico 32: produzione di rifiuti urbani pro capite (media nazionale). (Fonte: ISPRA)

A ogni modo, dalla metà degli anni '90 la produzione totale di rifiuti in Italia è quasi raddoppiata, facendo registrare un aumento di +91% tra il 1997 e il 2006. Particolarmente significativo è stato l'incremento dei rifiuti speciali (in particolare nelle attività manifatturiere e nelle attività di trattamento dei rifiuti) mentre più contenuto è stato l'aumento dei rifiuti urbani.

²⁰ Tra il 1997 e il 2006, il tasso di crescita della produzione di tali rifiuti è risultato sempre più elevato rispetto al tasso di crescita del PIL o degli altri indicatori socio-economici.

²¹ Popolazione Italiana (2008), 60.045.068 di abitanti.

2.5.2.2 Recupero e gestione

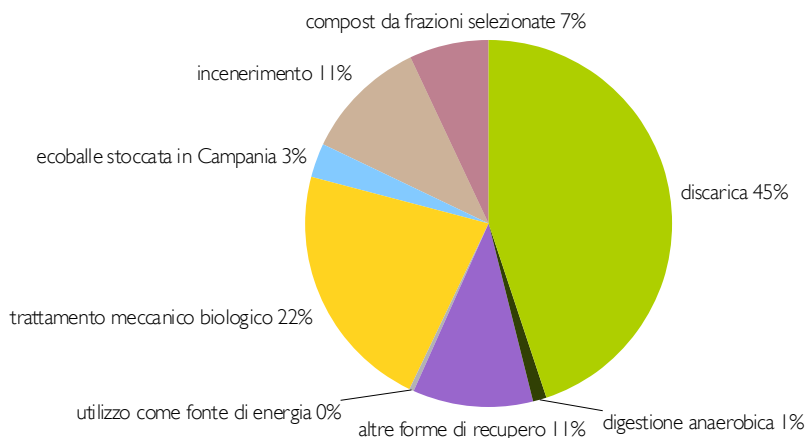


Grafico 33: ripartizione percentuale della gestione dei rifiuti urbani, 2008. (Fonte: ISPRA)

L'analisi dei dati evidenzia che lo smaltimento diretto in discarica rappresenta circa il 45% dei rifiuti urbani complessivamente gestiti nell'anno di riferimento (49%, pari a circa 16 milioni di tonnellate, considerando il totale). Per quanto riguarda invece i rifiuti speciali, sia pericolosi che non, il conferimento in discarica si è confermato a circa 19 milioni di tonnellate, portando così a una quota di 35 milioni di tonnellate la quantità totale di rifiuti smaltiti nel 2008, pari a circa il 20%. Nello specifico, la forma di gestione dei rifiuti pericolosi più diffusa è il recupero di materia (55,7% pari a 57,7 milioni di tonnellate), mentre il 18,4% (19 milioni di tonnellate) è smaltito in discarica. Il 22,3% è avviato a impianti di trattamento meccanico biologico e il 2,6% viene utilizzato come fonte di energia in impianti dedicati, mentre solo l'1% viene avviato all'incenerimento.

La discarica è la forma di gestione di rifiuti urbani più diffusa anche se non più la prevalente; nell'insieme, infatti, le altre tipologie di recupero, trattamento e smaltimento rappresentano oltre la metà dei rifiuti gestiti (55%). Lo smaltimento in discarica si riduce, rispetto al 2007, di 930 mila tonnellate (-5,5%), a causa dell'aumento della raccolta differenziata a livello nazionale e della riduzione della

capacità di spesa delle famiglie italiane nel 2008. Tuttavia, i siti di stoccaggio delle 2 milioni di tonnellate di "ecoballe" in Campania, giacenti da più di un anno alla fine del 2008, andrebbero considerati, ai sensi della direttiva 99/31/CE, come vere e proprie discariche, facendo così aumentare e non diminuire la quantità di rifiuti avviati a questo tipo di smaltimento nel corso del quadriennio 2004-2008. La regione Lombardia, mantiene il primato virtuoso di regione che smaltisce in discarica la percentuale inferiore di rifiuti urbani prodotti, pari all'8% del totale, facendo registrare ancora un miglioramento (-14%) rispetto al 2007.

Decresce anche la quantità di rifiuti avviati al trattamento meccanico biologico di circa 360 mila tonnellate (-0,7 %), mentre le altre forme di gestione fanno registrare lievi incrementi. Le quantità di rifiuti avviati a trattamento biologico, sia di tipo aerobico che anaerobico, crescono rispettivamente di 0,8 e 0,6 punti percentuali. Del totale dei rifiuti trattati negli impianti di digestione anaerobica, l'88% sono costituiti dalle frazioni organiche della raccolta differenziata (frazione umida + verde), mentre la restante parte è costituita da altre frazioni organiche miste provenienti dalla selezione dei rifiuti indifferenziati.

Aumentano le quantità di rifiuti avviate al recupero di materia, grazie all'incremento della raccolta differenziata delle diverse frazioni merceologiche. Nel 2008, in Italia, la raccolta differenziata dei rifiuti ha raggiunto una percentuale pari al 30,6% della produzione totale. Rispetto al 2007 (27,5%) si osserva un incremento di circa il 3% (980.000 tonnellate). Nonostante questo trend di crescita, sono stati mancati gli obiettivi fissata dalla normativa in materia per il 31 dicembre 2008 (45% di RD), sia quelli passati per il 2007 e il 2006 (40% e 35%)²². La situazione appare comunque

22 D.Lgs 152/2006, art. 205, comma 1: In ogni ambito territoriale ottimale deve essere assicurata una raccolta differenziata dei rifiuti urbani pari alle seguenti percentuali minime di rifiuti prodotti: a) almeno il 35% entro il 31 dicembre 2006; b) almeno il 45% entro il 31 dicembre 2008; c) almeno il 65% entro il 31 dicembre 2012. L. 296/2006, art.1, comma 1108: Al fine di realizzare rilevanti risparmi di spesa e una più efficace utilizzazione delle risorse finanziarie destinate alla gestione dei rifiuti solidi urbani, la regione, previa diffida, provvede tramite un commissario ad acta a garantire il governo della gestione dei rifiuti a livello di ambito territoriale ottimale con riferimento a quegli ambiti territoriali ottimali all'interno dei quali non sia assicurata una raccolta differenziata dei rifiuti urbani pari alle seguenti percentuali minime: a) almeno il 40% entro il 31 dicembre 2007; b) almeno il 50% entro il 31 dicembre 2009; c) almeno il 60% entro il 31 dicembre 2011.

molto differenziata fra il Nord, il Centro e il Sud. Mentre il Nord, con il 45%,5 raggiunge e supera l'obiettivo previsto per legge, il Centro, con il 22,9%, e il Sud, con il 14,7%, risultano ancora molto lontane da tale target.

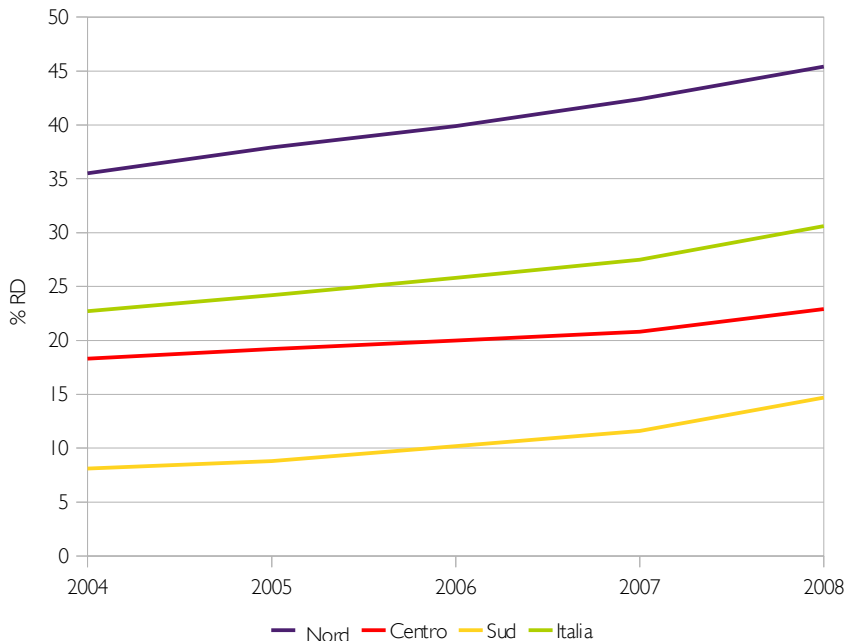


Grafico 34: raccolta differenziata dei rifiuti urbani. (Fonte: ISPRA 2009)

Complessivamente, nel 2008, oltre 3,3 milioni di tonnellate di frazione organica sono state raccolte in maniera differenziata. L'analisi dei dati evidenzia, tra il 2007 ed il 2008, un incremento di oltre 430 mila tonnellate (+14,8% circa) della raccolta differenziata della frazione organica (umido e verde).

Superiore a 2,9 milioni di tonnellate risulta, nel 2008, il valore di raccolta differenziata della frazione cellulosa, che fa rilevare una crescita, rispetto al precedente anno, pari al 9% circa (+240 mila tonnellate). Il quantitativo relativo agli imballaggi risulta pari a circa 1,1 milioni di tonnellate. La frazione cellulosa e quella organica rappresentano, nel loro insieme, più del 63% del totale della raccolta differenziata. Il quantitativo di

rifiuti biodegradabili (unitamente alla frazioni tessili e al legno) raccolti in modo differenziato, nel 2008, supera i 7 milioni di tonnellate con una crescita percentuale, rispetto al 2007, pari all'11,3% circa. Nonostante ciò, si stima che la quota residua di biodegradabili ancora contenuta nel rifiuto urbano indifferenziato, sia quantificabile, nel 2008, in circa 13,6 milioni di tonnellate. Il recupero della frazione biodegradabile, al fine di ridurre i quantitativi avviati allo smaltimento, riveste un ruolo primario, sottolineato dalle direttive europee sui rifiuti. Tuttavia la crescita di questo settore rimane chiaramente condizionata dagli scarsi risultati raggiunti dalla raccolta differenziata della frazione organica nel sud del Paese.

La raccolta differenziata del vetro nel 2008 è stata pari a quasi 1,5 milioni di tonnellate, di cui l'88% circa rappresentato da imballaggi. Rispetto al 2007 si rileva una crescita percentuale superiore al 15% mentre, con riferimento al 2004, l'incremento risulta pari al 41,6% circa.

La crescita percentuale più elevata si rileva, tra il 2007 ed il 2008, per i rifiuti di apparecchiature elettriche e elettroniche (RAEE), +34,8%, corrispondente a un incremento, in valore assoluto, di poco superiore alle 40 mila tonnellate. Complessivamente, a livello nazionale, vengono raccolte circa 157.000 tonnellate di RAEE. Dal gennaio 2008, il compito di occuparsi di questo tipo di rifiuti è stato trasferito dagli organismi comunali agli stessi produttori, che diventano responsabili dei propri dispositivi sia prima che dopo la vita commerciale.

Una crescita superiore al 15% (oltre 77 mila tonnellate) si rileva per la raccolta della plastica, rappresentata per l'87% circa da rifiuti di imballaggio²³, e un aumento pari al 6% circa (+38 mila tonnellate) per la frazione legno (di cui circa il 62% rappresentato da imballaggi). Per i rifiuti in metallo si osserva, invece, una leggera contrazione nel dato di raccolta (-2,2%), che si attesta, nel 2008, a circa 354 mila tonnellate. La quota relativa ai rifiuti di imballaggio, quantificata, nel 2008, in circa 117 mila tonnellate (33%

23 È interessante considerare come sia stato stimato che se non venissero impiegati imballaggi in plastica il peso complessivo del packaging aumenterebbe del 391%, i consumi energetici legati alla produzione di imballaggi crescerebbero del 208% e la quantità di rifiuti di imballaggio verrebbe incrementata del 258% (Fonte: APME). Tutto ciò dimostra come sia complesso il settore dei rifiuti.

dei rifiuti metallici complessivamente raccolti) a fronte delle 198 mila tonnellate circa del 2007.

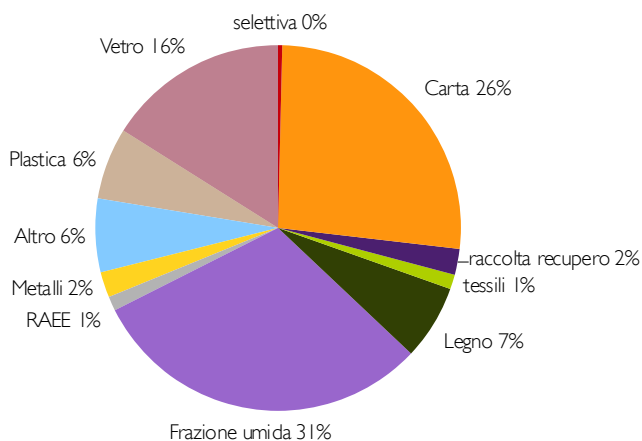


Grafico 35: raccolta differenziata nella provincia di Milano, 2008. (Fonte: ISPRA)

Le regioni con le maggiori percentuali di raccolta differenziata sono, nel 2008, il Trentino Alto Adige e il Veneto, che si attestano al di sopra del 50% (56,8% e 52,9% rispettivamente). La Lombardia si attesta con una percentuale di raccolta differenziata pari al 46,2% (2.319.193 su 5.021.804 di tonnellate), con una crescita del 5,3% dal 2004 al 2008. Le province con i più alti tassi di raccolta sono, confermando quanto fatto registrare nel 2006 e nel 2007, Treviso e Novara con percentuali pari, rispettivamente, a 66,9% e 63,4%. La provincia di Milano, con una popolazione di 3.930.345 di abitanti e una produzione di 515 kg/anno pro capite, ha prodotto nel 2008, 2.024.176 tonnellate di rifiuti urbani (pari al 40% di tutta la regione). La percentuale di raccolta differenziata nella provincia è pari a 45,8%, minore della media regionale, pari a 926.963 di tonnellate. Eseguendo un'analisi al singolo comune, nel 2008, il 4,7% dei comuni si attesta a percentuali di raccolta differenziata superiori al 70%, mentre poco meno della metà (47,6% circa) si colloca al di sotto del 30%. Inoltre è evidente come vi sia una diminuzione dell'incidenza della raccolta differenziata al crescere delle dimensioni del comune stesso. Si può rilevare che la

percentuale dei comuni con tassi di raccolta differenziata superiori al 50%, è maggiore nel caso dei centri con popolazione residente compresa tra i 5.001 ed i 15.000 abitanti (36,9%) e risulta, invece, più contenuta per i comuni appartenenti alle altre fasce. Nei grandi centri urbani non si osservano mai livelli di raccolta superiori al 50%. La produzione dei rifiuti urbani rappresenta uno dei fattori di maggiore pressione nelle città sia in termini economici che ambientali. Dal 2002 al 2007 la produzione di rifiuti urbani pro capite evidenzia una crescita in tutte le grandi città prese in esame, a eccezione di Milano (-3,5%), Palermo (-2,2%) e Genova (-1,9%).

I quantitativi di rifiuti urbani e CDR avviati a incenerimento sono progressivamente aumentati nel periodo 1996-2008, passando da 1,6 milioni di tonnellate a oltre 4,1 milioni di tonnellate nel 2008. Nel 2006 la quota di rifiuti speciali anch'essi inceneriti era di circa 1 milione di tonnellate. Nell'ultimo biennio, si registra un incremento del 4,6%. L'incenerimento, nel quinquennio 2003-2008, mantiene una sostanziale stabilità rispetto al totale dei rifiuti gestiti a livello nazionale (tra il 9% e il 11%).

Un caso particolare viene ricoperto dai rifiuti da imballaggio. Perno del recupero degli imballaggi a livello nazionale è il CONAI, istituito come già ricordato dal Decreto Ronchi (vedi pagina 118), basato sul principio della responsabilità condivisa di tutti gli attori della gestione dei rifiuti: imprese, pubblica amministrazione e cittadini. Allo stato attuale, l'unica fonte di informazioni sul ciclo degli imballaggi e rifiuti di imballaggio è rappresentata proprio dal CONAI²⁴. L'impresso al consumo, nel periodo 2003-2008, mostra una crescita complessiva di oltre 547 mila tonnellate, corrispondente, in termini percentuali, a un aumento di circa il 5%, arrivando a una produzione totale complessiva di 12,16 milioni di tonnellate. Dal 2007 al 2008 però, è stato registrato un decremento del 1,7%, corrispondente a 209.000 tonnellate, il più consistente a carico dell'alluminio (-9,7%), seguito da legno (-4,9%), dall'acciaio (-4,6%) e dalla carta (-0,8%). Sostanzialmente stabili le frazioni della plastica e del vetro.

24 L'art. 220, comma 2 del D.Lgs. 152/2006, prevede che il Consorzio comunichi, annualmente, alla Sezione nazionale del Catasto dei rifiuti, i dati relativi «al quantitativo degli imballaggi, per ciascun materiale e per tipo di imballaggio immesso sul mercato, nonché, per ciascun materiale, la quantità degli imballaggi riutilizzati e dei rifiuti di imballaggio riciclati e recuperati provenienti dal mercato nazionale.».

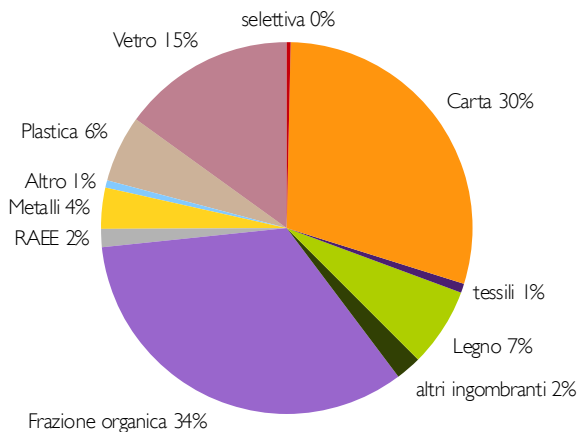


Grafico 36: produzione dei rifiuti da imballaggio, 2008. (Fonte: ISPRA)

Nel 2008, la quantità totale di rifiuti di imballaggio avviata complessivamente a recupero (di materia e "energetico" nell'incenerimento), in base al «Programma generale di prevenzione e gestione degli imballaggi e dei rifiuti di imballaggio» del CONAI, ammonta a 8,3 milioni di tonnellate, il 68,5% del totale prodotto, con un decremento, rispetto al 2007, dello 0,7%, pari a oltre 61 mila tonnellate. Il dato del 2008, interrompe l'andamento positivo che si era registrato fino all'anno 2007. Il recupero di materia (86,6% sul totale) mantiene il suo trend di crescita positivo, pari al 1,3% dal 2007 al 2008. L'incremento maggiore, tra il 2007 ed il 2008, nel recupero totale dei singoli materiali, si registra per il vetro (+6,7%), seguono la carta (+2,4%) e la plastica (+0,4%). Si evidenzia, invece, un decremento per il legno (-12,7%), l'acciaio (-4,3%) e l'alluminio (-2,8%). In termini assoluti, l'aumento più elevato lo fa rilevare il vetro, i cui quantitativi avviati a recupero risultano superiori di 87 mila tonnellate rispetto al 2007. Segue la carta con 85 mila tonnellate. Si rileva, come evidenziato, un decremento invece del legno, con una differenza, rispetto al 2007, di 220 mila tonnellate. Carta e legno, provenienti perlopiù da imballaggi della grande distribuzione, incidono sul riciclaggio, rispettivamente con il 54% e il 30% del totale.

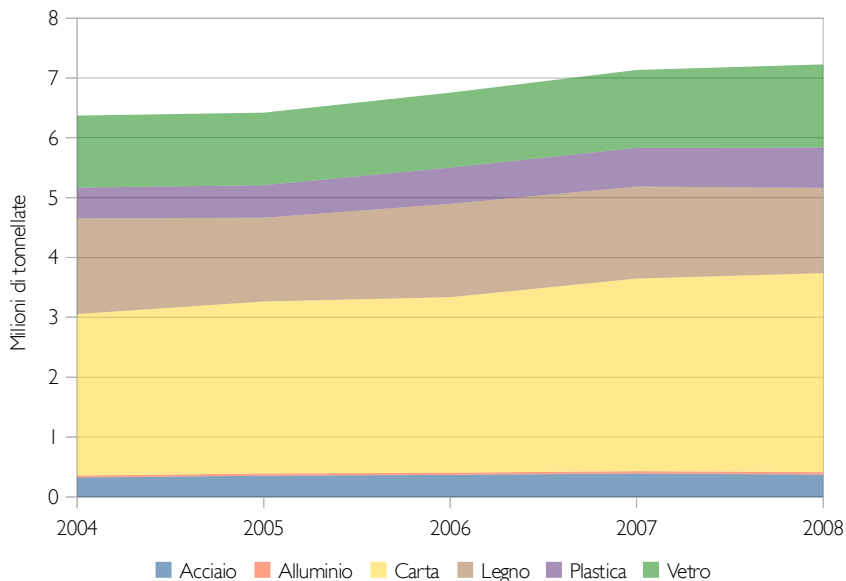


Grafico 37: rifiuti da imballaggio riciclati. (Fonte: CONAI)

Nel 2008, il recupero complessivo dei rifiuti di imballaggio raggiunge il 69% dell'impresso al consumo, superando ampiamente, a livello nazionale, l'obiettivo del 60%, fissato dalla legislazione del 31 dicembre 2008; il riciclo in particolare, che già nel 2007 ha raggiunto e superato l'obiettivo di legge, si attesta intono al 59,4%. Dalla sua nascita il sistema CONAI ha incrementato il recupero di rifiuti di imballaggi del 140% (+120% il riciclo) e ha dimezzato i quantitativi avviati alla discarica. Del totale recuperato è stato riciclato un quantitativo di oltre 7 milioni di tonnellate, raggiungendo così il 59% dell'impresso al consumo nel 2008. Il riutilizzo degli imballaggi, risulta nel 2008, pari a 1.368.856 tonnellate di imballaggi per uso alimentare, a 2.167.849 tonnellate di imballaggi per altri usi. La gran parte di questi quantitativi è costituita da pallets e imballaggi industriali in legno, e da cassette di plastica e cassette in legno per ortofrutta. Si evidenzia che, rispetto al 2007, il quantitativo riutilizzato degli imballaggi per uso alimentare si mantiene sostanzialmente stabile, mentre si registra un incremento pari al 5% del quantitativo di imballaggi per altri usi.

3. Architettura

«Costruire è l'attività umana a più alto impatto ambientale.»

3.1 Introduzione

La situazione descritta fino a qui appare a dir poco preoccupante. Abbiamo visto come da una parte l'aumento dei consumi energetici globali, a cui la crisi sembra avere concesso soltanto una pausa, e dall'altro l'immissione in ambiente di grandi quantità di rifiuti, con il precedente prelievo di risorse dalla natura, stia portando l'umanità sull'orlo di un precipizio. È da circa 40 anni che gli studiosi hanno la consapevolezza di questi fenomeni, ma i decisori politici sembrano non volere ascoltare questo grido di allarme. Purtroppo anche laddove vengono firmati accordi a tutela del pianeta, questi non sono mai sottoscritti dai Paesi maggiormente inquinanti, come gli Stati Uniti¹ o i Paesi in via di sviluppo. È ormai dimostrato che la nostra impronta ecologica ha già superato il limite della Terra, tanto che, per soddisfare i nostri bisogni attuali senza compromettere l'ambiente, ne servirebbe una del 30% più grande. In particolare, l'italiano medio ha un'impronta ecologica di un quadrato di 196 metri di lato, fatto per il 7,03% da mare, per il 7,81% da foreste, per il 21% da terreni agricoli, per il 4,68% da pascoli, per l'1,82% da superfici edificate (città, strade, infrastrutture), e per ben il 57,5% da aree necessarie all'assorbimento dell'anidride carbonica pro capite emessa². Confrontato con la capacità biologica del territorio nazionale, ci vorrebbero 3 nazioni grandi come l'Italia per soddisfare interamente i consumi italiani. Negli ultimi 50 anni l'impatto umano sull'ambiente è

1 Gli Stati Uniti rappresentano il 4,5% della popolazione mondiale, consumo il 30% dei materiali prodotti dall'intero globo e il 25% della produzione energetica commerciale, di cui la metà è destinata al funzionamento degli edifici.

2 WWF, *Living Planet Report 2002*.

stato a dir poco sconvolgente: l'aumento dei consumi energetici come visto ha portato a un incremento di circa il 70% dal 1980 a oggi, e si prevede un ulteriore aumento del 40%-45% entro il 2030. Le emissioni di GHG aumenteranno del 35% per quella data (quando invece dovrebbero diminuire fra il 50% e l'85% per mantenere la temperatura terrestre entro i $+2^{\circ}\text{C}$) se non verranno presi seri provvedimenti a riguardo. L'unica soluzione possibile per fermare questo andamento disastroso dei gas a effetto serra in atmosfera è dimezzare a livello globale il prelievo di tutte le risorse naturali³, e di un fattore 10 in ambito Europeo, e in genere in tutti i paesi sviluppati.

Fra tutte le attività umane, quella che più incide sull'ambiente, che assorbe più energia e che produce più rifiuti, è senz'altro l'edilizia. Se all'inizio della storia l'Uomo dovette realizzare un riparo contro le forze della natura, in questo momento storico, è la natura a essere sotto attacco. Non è di uso comune considerare la propria casa come un pericolo per l'ambiente. Piuttosto generalmente si pensa alle industrie e al traffico, come i principali attori dell'inquinamento. Tuttavia non è così, in quanto, su scala mondiale, l'attività edilizia consuma:

- il 40% della pietra viva e della sabbia cavata (circa 3 miliardi di materie prime vengono ogni anno prelevate dall'ambiente a scopo costruttivo);
- il 40% dell'energia a livello mondiale;
- il 25% del legname tagliato;
- il 16% dell'acqua viene assorbito dal settore delle costruzioni;

e produce:

- il 30% dei rifiuti prodotti;
- il 50% delle emissioni di CO_2 , anidride solforosa e biossido di azoto.

Fra i vari campi di intervento, il settore delle costruzioni riveste quindi un ruolo

3 Nelle economie avanzate sono necessari almeno 300 kg di risorse naturali per generare 100 USD di reddito.

fondamentale. Ciò è riconosciuto ormai da parecchio tempo, anche a livello internazionale. Il documento programmatico Agenda 21 (vedi pagina 36), include il settore delle costruzioni nel campo delle azioni per il raggiungimento di uno sviluppo durevole e sostenibile.⁴ Si ribadisce l'importanza di questo settore e contemporaneamente, come esso possa danneggiare l'ambiente attraverso la depauperazione del patrimonio di risorse naturali, il degrado di eco-zone fragili, l'inquinamento chimico e l'utilizzo di materiali di costruzione dannosi per la salute umana. Ogni nazione è invitata, fra le altre cose, a stabilire e rinforzare l'utilizzo di materiali, risorse e tecniche locali; sviluppare politiche e pratiche per promuovere l'autocostruzione (di cui parleremo in seguito), con l'adozione di misure volte a aumentare l'accessibilità dei materiali da costruzione da parte della tra poveri urbani e rurali; promuovere il riciclaggio di materiali ad alta intensità energetica nel settore delle costruzioni e risparmio di energia e di rifiuti nei metodi di produzione materiali da costruzione.

Nel 2008 il consumo energetico in Italia è stato di circa 38 milioni di tep per l'industria e di 45 Mtep per il terziario/residenziale, con la differenza che, mentre per l'industria dal 1970 si registra un aumento di 3 milioni di tep, per il settore civile l'aumento è di 20 milioni di tep, pari a una crescita pari all'80% in 40 anni. Da delle analisi sul patrimonio edilizio esistente in Italia, di cui il 40% ha un età superiore ai 50 anni, si evince come, in poco più di 5 anni, si uguaglia con il solo riscaldamento invernale la quantità di energia impiegata durante tutte le fasi della costruzione dell'edificio. Considerando i consumi per il raffrescamento estivo degli ultimi anni, questo periodo di tempo si fa ancora più esiguo. Il problema dei grandi consumi in

4 Fra le aree di intervento in questo campo, l'Agenda 21 suggerisce i seguenti ambiti di ricerca:

- ambiente costruito e ecosistemi;
- efficienza energetica;
- benessere e salubrità;
- rifiuti;
- conservazione delle risorse;
- edifici esistenti;
- strumenti;
- processi di costruzione.

edilizia, e delle relative emissioni, può essere risolto con misure rivolte, come abbiamo visto a pagina 56, a migliorare l'efficienza termica dell'involucro edilizio, attraverso impianti meccanici a alto rendimento, e con il supporto delle energie rinnovabili. Per quanto riguarda il consumo di energia durante la vita utile degli edifici, anche il 4° Rapporto dell'IPCC delinea dei possibili scenari di riduzione. Le proiezioni indicano infatti che circa il 30% delle emissioni di GHG del settore residenziale nel 2030 può essere evitato con benefici economici netti. Inoltre, la normativa vigente impone determinate caratteristiche termiche all'involucro e agli impianti di edifici di nuova costruzione o in ristrutturazione, fissando un valore massimo di consumo per climatizzazione (per ora solo invernale) che non può essere superato. Edifici efficienti dal punto di vista energetico, oltre a limitare la crescita delle emissioni di CO₂, possono migliorare la qualità dell'aria interna ed esterna, migliorare il benessere sociale e aumentare la sicurezza dell'approvvigionamento energetico. Le opportunità di conseguire riduzioni di GHG nel settore residenziale esistono in tutto il mondo. Tuttavia, la presenza di molti ostacoli rende difficile la realizzazione di questo potenziale. Tali barriere comprendono la disponibilità di tecnologie, di risorse finanziarie, la povertà, alti costi per le informazioni affidabili, limitazioni relative alla progettazione degli edifici e una gamma appropriata di politiche e programmi. L'entità degli ostacoli sopra descritti è maggiore nei paesi in via di sviluppo e questo fatto rende più difficile per questi paesi raggiungere il potenziale di riduzione di GHG nel settore delle costruzioni.

Secondo quanto detto, il problema energetico in edilizia, anche con l'avvio delle pratiche di certificazione e del riconoscimento dell'importanza del risparmio e dell'efficienza energetica, tutt'altro che risolto, appare almeno ben posto. Con il procedere del tempo però l'energia consumata al m², almeno nei paesi sviluppati, andrà sempre più diminuendo, con l'aumento in percentuale della quota di energia spesa per la costruzione. A fronte di un così largo impatto causato dall'industria delle costruzioni, non solo la quantità di energia prelevata dalla natura, ma la scelta dei materiali e delle tecnologie diventa fondamentale, soprattutto in un'ottica di

riduzione delle emissioni. Come affrontato a pagina 127, i rifiuti da inerti non pericolosi da costruzione e demolizione nel 2006 hanno costituito il 30% (52 milioni di tonnellate⁵) della produzione totale, con un incremento di +155% dal 1997.

Secondo l'ONU la battaglia al cambiamento climatico sarà vinta o persa nelle città. La maggior parte della crescita delle emissioni di CO₂ si prevede che sarà prodotta dalla città, la cui quota passerà dal 71% del 2006 al 76% del 2030, in relazione all'aumento del processo di urbanizzazione. Poco più di metà della popolazione mondiale vive in città, ma si prevede che al 2030 la percentuale di cittadini nel mondo possa salire fino al 65% rispetto alla popolazione mondiale. Considerata una crescita di più di 2 miliardi di persone, da qui al 2040, la domanda di abitazioni crescerà verosimilmente di pari passo. Non saremo mai in grado di dare alloggio alle generazioni future in palazzi di cemento. Un nuovo modo di costruire dovrà necessariamente farsi strada.

3.1.1 Perché costruire

L'architettura più sostenibile in assoluto è quella che non esiste. Da questa affermazione sembrerebbe che qualsiasi edificio, per il semplice fatto di esistere, danneggi l'ambiente. Tuttavia...è proprio così. L'edilizia è, per definizione, l'insieme delle attività di trasformazione dei materiali e del territorio in insediamenti umani. Per cui, considerando l'equilibrio naturale locale del sito e globale del mondo, difficilmente potremo affermare che "costruire" possa migliorare la situazione pre-esistente. È questo è ancora più vero se guardiamo il processo edilizio dal punto di vista dell'aumento di entropia globale a cui esso a portato. Ovviamente non sto parlando di valori legati alla percezione dell'ambiente da parte dell'uomo, che rientrano nella sfera dei luoghi e del paesaggio. Sto limitando l'attenzione ai soli flussi di materia e di energia che è possibile quantificare.

La conseguenza diretta di queste considerazioni è quella di un blocco totale delle

5 Ricordo che la produzione di rifiuti urbani per lo stesso anno si attestava a circa 32 milioni di tonnellate.

nuove edificazioni. Senza essere così drastici, la progettazione architettonica dovrebbe però impegnarsi a seguire quanto enunciato dalla teoria delle «5R», sviluppata da Charles Kibert, a partire della teoria delle «3R» nel campo dei rifiuti:

- riduci: quantità di materiali, energia, acqua, emissioni inquinanti;
- riusa: suolo, edifici, materiali;
- ricicla: acqua, energia, materiali;
- ricostruisci: su suoli già utilizzati, strutture già esistenti;
- ristrutturatura/restaura: aree, edifici, componenti edilizi.

Da questi semplici principi si deduce come, la conquista di nuovi suoli da parte delle costruzioni debba avvenire solamente in caso di conclamata necessità, dove per questo si intende l'impossibilità di soddisfare il bisogno abitativo (nel senso più generale del termine) in altro modo. L'edilizia nel nostro paese è sempre stata uno dei settori trainanti dell'economia. A causa di ciò, spesso, laddove la richiesta di nuova edificazione non c'era, la si è inventata (vedi come ultimo esempio il cosiddetto piano casa⁶). Come se ciò non bastasse, la messa a disposizione al privato di suoli edificabili è diventata l'unica fonte di guadagno per cercare di salvare i bilanci in rosso delle amministrazioni comunali. Questo è un problema storico, politico e di governo del territorio, e in quanto tale esula dagli argomenti trattati in questo scritto. Oltretutto questa tesi riguarda principalmente (anche se non esclusivamente, in quanto potrebbe essere impiegata per interventi sull'esistente) la costruzione “da zero”, e è quindi il luogo meno adatto a recriminazioni sulla speculazione edilizia. Tuttavia era necessario chiarire onestamente certi aspetti, per poi proporre un approccio all'edilizia tale ridurre al minimo il suo impatto.

6 Legge n. 133/2008.

3.2 Costruire rifiutando

« Un piccolo supermarket è in grado di produrre tanto materiale per costruire 20 case a settimana di 25 m² assemblate usando lattine e cartone. »

- Martin Pawley, Garbage Housing (1975) -

3.2.1 Dalla cultura materiale alla cultura industriale

Anche l'Architettura, come ogni altro aspetto della vita umana, ha subito l'avvento delle energie fossili. Come per l'industria, la società, l'economia, gli idrocarburi hanno segnato un punto di non ritorno. Le nuove energie fossili hanno spinto il progresso tecnologico e costruttivo verso nuovi orizzonti. L'Uomo oggi è in grado di costruire edifici alti centinaia di metri in verticale, o di costruire intere città in pochi anni. La produzione di materiali moderni a alto contenuto energetico quali l'acciaio e il calcestruzzo (anche se quest'ultimo è conosciuto fin dai tempi dei romani), e l'industrializzazione del settore delle costruzioni, ha aperto la strada a una produzione edilizia intensiva.

La disponibilità di risorse ha reso praticabile un diverso modello costruttivo, riformulando le variabili materiali, tecniche e processi produttivi. I materiali prodotti a scopo edificatorio sono caratterizzati da una tecnologia sempre più mirata al soddisfacimento delle prestazioni richieste, ma spesso con effetti dannosi per l'ambiente. In quel preciso momento, passando dalla cultura materiale alla cultura industriale, si è perso il riferimento con lo spazio e con il tempo, il rapporto con le tecniche costruttive sia per quanto riguarda la scelta, scremata nel corso degli anni, dei rapporti di forma, della scelta e uso dei materiali, delle tecniche "giuste". In aggiunta è venuto meno quel rapporto di dipendenza esplicita fra l'utilizzo delle risorse e la capacità stessa dell'ambiente di rigenerarle e di rigenerarsi, insita invece nelle culture materiali.

Tornare indietro è impossibile. Recuperare la cultura materiale di un tempo e applicarla ai nostri giorni non sarebbe onesto dal punto di vista storico. Una soluzione più volte sperimentata, è stata quella di rinnegare la città contemporanea e realizzare una nuova comunità in qualche angolo ancora incontaminato del nostro pianeta (se ne esistono ancora). Tuttavia, nemmeno questo tipo di approccio pone rimedio al problema (anzi ne crea altri). Vale la pena allora, tentare di cambiare i paradigmi materiali su cui siamo basati, senza “fuggire” nel tempo o nello spazio: dobbiamo cercare una soluzione qui e adesso!

3.2.2 Occhi che non vedono

La pratica del riutilizzo di materiali da costruzione è sempre stata molto comune nel corso della storia. Il caso della spoliazione di antichi edifici fu, più che frequente, normale: i monumenti in passato sono sempre stati considerati quali cave di pietra di eccezionale comodità, che fornivano materiale squadrato, decorato, pressochè già pronto per l'uso così come si trovava⁷. I materiali esterni delle piramidi in Egitto furono asportati all'epoca degli Ayyubidi e dei Mamelucchi per costruire il Cairo; il Foro di Roma diventò una cava per la realizzazione degli edifici urbani in epoche più tarde, e i templi greco-romani dell'Africa settentrionale furono saccheggianti per erigere moschee⁸. Questo accadeva con frequenza, e non perché si fosse preoccupati per le sorti del pianeta, ma per il semplice fatto che si volevano evitare sprechi inutili in termini di materiali, di lavoro e di denaro. Il materiale recuperato era visto come una risorsa gratuita a disposizione.

Da un certo punto di vista, anche noi oggi siamo nella stessa situazione. Solo che non ce ne rendiamo conto: alla Le Corbusier potremmo dire «occhi che non vedono». Come ricordato a proposito del riuso (pagina 109), siamo circondati da prodotti, oggetti di consumo, che gettiamo via ogni giorno, senza renderci conto che questi

7 Perogalli C., *Monumenti e metodi di valorizzazione: saggi, storia e caratteri delle teorie sul restauro in Italia, dal medioevo ad oggi*, Libreria editrice politecnica Tamburini, Milano, 1954.

8 2003/04, Bruno A.M., Sauria A., *Un vespaio di rifiuti, pannelli per vespaio realizzati con vasetti dello yogurt e contenitori in poliaccoppiato*, rel. Rogora A., Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura.

non solo potrebbero essere riusati così come sono, non solo per l'uso per il quale sono nati. Per esempio, i modi secondo cui potremmo recuperare un contenitore sono essenzialmente 3:

- di nuovo, come contenitore;
- come materiale grezzo;
- per altri usi inusuali.

Il recupero, a differenza del riciclo, non necessita che il prodotto da riutilizzare sia composto da materiale omogeneo. È possibile considerare sia elementi totalmente integri e funzionanti, ma eliminati perché obsoleti, sia quelli che per perdita delle proprie qualità peculiari non sono più in grado di assolvere a un preciso bisogno, sia propriamente gli scarti, intesi come sfridi, di qualsiasi processo produttivo. Si parlerà allora di riuso esogeno, nel caso di prodotti di consumo dismessi e di alcuni residui dei processi di produzione industriale, mentre endogeno l'uso di materiali prodotti dalla demolizione di altri edifici o considerati obsoleti.

Il riuso dona una seconda vita al materiale, e porta all'integrazione di diversi settori produttivi (intersettorialità), tendendo a un sistema resiliente e a emissioni zero. La produzione e la distribuzione di contenitori e materiali di imballaggio sarebbe così indistinguibile dalla produzione e distribuzione di elementi edilizi, e offrirebbe notevoli risparmi sia per quanto riguarda le materie prime attualmente perse con lo smaltimento dei rifiuti, sia come misura anti-inflazionistica, sia in termini ecologici, trasformando il nostro processo di consumo. Si tratta allora di congiungere l'output dei rifiuti con l'input dell'*housing*. Inoltre portando una lattina di alluminio a livello del mattone fa sì che si passi da un materiale inflazionato a un materiale deflazionato.

Prendiamo a esempio una bottiglia di vetro. Le sue caratteristiche non vengono meno quando il suo contenuto sia stato consumato. Essa non necessita di alcuna operazione supplementare per potere svolgere nuovamente la funzione originaria. Inoltre, la resistenza a compressione assiale di una bottiglia di vetro è paragonabile a quella di un mattone! (vedi pagina 279).

3.2.3 Architettura spontanea moderna

« Per millenni abbiamo costruito le case con materiali naturali come rocce, terra, giunchi e tronchi. Oggi ci sono montagne di sottoprodotti della nostra civiltà liberamente disponibili ovunque: sono queste le risorse naturali dell'umanità moderna. »
 - Mike Reynolds -

Che ci piaccia oppure no, nel mondo esistono migliaia di abitazioni realizzate a partire da rifiuti dove vivono milioni di persone, soprattutto in accampamenti abusivi ai margini delle aree urbane. In molte aree del mondo, queste parti “invisibili”, spontanee delle città crescono più velocemente delle sezioni più visibili e pianificate. Come un tempo si costruiva con i materiali di cui si aveva ampia disponibilità, così oggi in condizioni di disagio, i rifiuti sono l'unica risorsa disponibile: è nata così l'architettura spontanea moderna. Con la corsa alla modernizzazione, sempre più persone si trasferiscono in città⁹, in enormi insediamenti abusivi dove costruiscono case con rifiuti e rottami. Sono queste le vere architetture spontanee dei nostri tempi¹⁰. I costruttori che utilizzano questi tipi di materiali comprendono ambientalisti, utopisti, ricercatori o artisti, ma nella stragrande maggioranza dei casi queste realizzazioni sono legate a situazioni di povertà e indigenza (favelas, bidonvilles), dove si edificano abitazioni con quello che si trova, ossia spazzatura. Le popolazioni del terzo mondo, ma anche la gente che vive ai “marginii” delle nostre città, non ha difficoltà a vedere nei rifiuti un potenziale materiale da costruzione a costo zero. Noi occidentali invece, plagiati dal modello usa e getta che la pubblicità ci propone, siamo soliti considerare la fine del primo uso di un oggetto come il termine della sua utilità in generale.

⁹ Nei paesi in via di sviluppo le città crescono a un ritmo di 5 milioni di abitanti al mese.

¹⁰ May J., con Reid A., *Architettura senza architetti, guida alle costruzioni spontanee di tutto il mondo*, Rizzoli, Milano, 2010.



Illustrazione 13: bidonville a Nuova Delhi

3.2.4 Tecnologia

«Non far fare alla tecnologia quello che può fare la morfologia.»

Il successo dell'uso dei rifiuti in ambito architettonico non è legato esclusivamente al concetto di riuso "al di fuori degli schemi", ma si basa anche sulla capacità di soddisfare certi requisiti richiesti da parte dei componenti edilizi, al pari di quello che avviene con i materiali standard. Secondo le triade vitruviana, un edificio, anche se realizzato a partire da rifiuti, dovrà possedere queste caratteristiche:

- *firmitas* (solidità);
- *utilitas* (funzionalità);
- *venustas* (bellezza).

3.2.4.1 Firmitas

La sicurezza strutturale, o solidità, deve essere garantita, e rimane un valore sovraordinato all'utilizzo di materiali di recupero. Raggiungere tale obiettivo è molto difficile se si utilizzano materiali di cui non si conosce a fondo il comportamento statico. Questa conoscenza può essere migliorata solo con lo sviluppo di studi e sperimentazioni sui vari materiali. Tuttavia attraverso un'attenta progettazione è possibile impiegare oggetti che paiono a prima vista inutilizzabili, attraverso l'unione o l'accostamento di piccole sezioni, oppure scegliendo schemi strutturali continui, al posto di quelli puntiformi, che distribuiscono le sollecitazioni sugli elementi.

3.2.4.2 Utilitas

Utilizzare i rifiuti per scopi costruttivi non è così semplice, e come abbiamo visto, sono molti i problemi da risolvere. Ogni componente edilizio deve soddisfare determinate prestazioni, e per fare ciò, deve possedere determinati requisiti. Lo stesso requisito può essere ottenuto attraverso diversi elementi costruttivi, quindi attraverso diverse tecniche con cui porre in opera quegli elementi. Quest'ultima strategia è quella da adottare nell'utilizzo di prodotti di recupero, considerandoli come elementi costruttivi, con caratteristiche determinate a priori. Le ridotte dimensioni dei prodotti di consumo non devono preoccupare, in quanto, molti dei componenti edilizi più comuni sono realizzati a partire da singoli elementi discontinui. Al fine della funzionalità dell'edificio e del benessere interno agli ambienti, non sarà possibile accontentarsi di prestazioni inferiori rispetto agli standard. La resistenza agli agenti atmosferici, alle effrazioni, ecc., dovrà essere garantita come per qualsiasi altro materiale edilizio, magari disciplinandola in relazione all'effettiva destinazione d'uso dell'edificio.

Vi è anche un problema di durabilità. Siamo soliti considerare la nostra casa come a un bene immobile anche nel tempo, mentre gli oggetti di consumo sono, per definizione, "usa e getta". A ben guardare però, la produzione industriale di imballaggi

e di prodotti odierna, realizza oggetti in grado di resistere sempre più nel tempo, e assolutamente non (bio)degradabili in tempi brevi. Un singolo sacchetto di plastica rimane nell'ambiente fino a 1000 anni, mentre le nostre abitazioni hanno una vita utile media di 100 anni.

3.2.4.3 Venustas

L'immagine estetica è paradossalmente il problema più impegnativo da risolvere nelle costruzioni di questo tipo, perché si svolge in un ambito non verificabile quantitativamente. Lo stereotipo estetico da cui rifuggire è quello della baracca, o dell'abitazione d'emergenza. A parte la generale scarsità tecnologica di queste costruzioni, nella nostra mente la loro immagine è correlata alla povertà. La battaglia, per essere vinta, dovrà essere condotta su due fronti: da un lato, è necessario dimostrare come, essendo gli oggetti di scarto composti da materiali come tutti gli altri, sia possibile realizzare edifici apprezzabili e di qualità (compito dell'architetto); dall'altro, è necessaria una crescita culturale, per riconoscere il valore dell'inusuale, del frammento, della sorpresa, dell'inaspettato rispetto allo standard, al normale, all'abitudinario: rifuggire dallo stereotipo della casa del mulino bianco (e questo è compito di tutti noi).

3.2.5 Politica

Dal punto di vista politico si vuole riportare l'esperienza di Martin Pawley¹¹, attraverso gli 8 punti elaborati ormai 40 anni fa, sulla questione della costruzione con i rifiuti, redatti in occasione di un accordo con le autorità Cilene per un programma di edilizia abitativa pubblica, purtroppo non andato a buon fine. Egli indicava come necessari:

- I. una valutazione della quantità di materiali adatti alla costruzione di case a basso costo attualmente assorbito dalle industrie produttrici di beni di

¹¹ Pawley M., *Garbage Housing*, Architectural press, Londra, 1975.

consumo;

2. un catalogo di questi materiali elencando le loro dimensioni e proprietà, il loro modello attuale di distribuzione e riuso;
3. una valutazione preliminare dell'incremento o della diminuzione nella produzione di questi materiali nell'espansione prevista dell'economia cilena per un periodo di 10 anni;
4. una stima sommaria della capacità di produzione di alloggi rappresentata da queste risorse, quando fattori come prezzo, spreco, modello di distribuzione e idoneità all'autoassemblaggio siano conosciuti;
5. una stima del rapporto fra aumento del costo dovuto dalla modifica degli imballaggi, e l'aumento del valore derivato da un potenziale uso secondo degli stessi;
6. una serie di progetti per prototipi che utilizzano gli imballaggi esistenti o modificati;
7. una serie di proposte per campagne pubblicitarie pensate per presentare questo tipo di abitare alla popolazione come un'alternativa al modello borghese attualmente presentato nella pubblicità;
8. un progetto di massima per l'introduzione del programma per abitazioni realizzate con materiali secondari nell'economia cilena, con il supporto della dimostrazione dei possibili vantaggi derivati dalla crescita economica.

3.2.6 Non sarà facile

È incredibile come alcuni questi punti siano ancora attuali e riescano a stabilire programmaticamente una strada verso un'architettura del riuso. Purtroppo, poco o nulla è cambiato da quegli anni. Prima, molto prima che costruire con i rifiuti si qualificasse come un problema tecnologico, deve essere accettato a livello di immaginario collettivo. Questo forse è l'unico grande ostacolo affinché almeno una parte dei processi edilizi si indirizzi verso questa direzione. Le prime esperienze

quindi, andranno svolte in condizioni di favore, in cui non si debba svolgere l'arduo compito di convincimento, collaborando con gruppi sociali (studenti, associazioni, ecc.) che dimostrano la volontà di sperimentare nuovi modi di costruire. Anche in ambito accademico però, il concetto di costruire con i rifiuti deve emergere dall'ombra, acquisendo maggior credibilità. Spero con questo lavoro di contribuire affinché ciò avvenga.

3.3 Architettura senza architetti

« L'architettura è troppo importante per essere lasciata agli architetti.»

- Giancarlo De Carlo, 1969 -

L'architettura fino a poco tempo fa non conosceva gli architetti. Nella storia l'architettura "autocostruita" è sempre esistita, riconosciuta sotto diversi nomi: vernacolare, tradizionale, spontanea, regionale, popolare. L'esigenza di costruire un'abitazione per la propria famiglia è sempre stata assolta da sé, e con l'aiuto della comunità. Questo generava un legame profondo fra i costruttori, il loro ambiente, i materiali usati (legno, pietra, terra) e l'intera comunità. Nel mondo moderno e contemporaneo l'arte e la scienza di costruire sono affidati inequivocabilmente a figure specializzate. Non c'è una parte del processo edilizio che non preveda un attore specifico che vi partecipa. Gli unici esempi ai giorni nostri di architettura costruita da chi la necessita, è della stessa natura di quella che utilizza materiali di scarto, ossia relazionata a condizioni di difficoltà, come la situazione emergenziale o le baraccopoli, arrivando, come detto sopra, fino all'abusivismo vero e proprio.

Nel passato l'abitazione è sempre stata custode di valori culturali, in cui la forma era semplicemente la cristallizzazione di due forze in gioco: l'ambiente e l'uomo. La casa rispondeva a esigenze di protezione e/o apertura con l'ambiente e il clima circostante e doveva essere adatta allo svolgimento della vita, familiare e comunitaria, delle persone che vi abitavano. C'era quindi una stretta relazione fra contenuto e contenitore, anche in termini culturali, in cui quest'ultimo dipendeva dal primo. Prendiamo a esempio quanto ci scrive Heidegger¹²: «Pensiamo per un momento a una casa contadina della Foresta Nera, che due secoli fa un abitare rustico ancora costruiva. Qui, ciò che ha edificato la casa è stata la persistente capacità di far entrare nelle cose terra e cielo, i divini e i mortali nella loro semplicità. Essa ha posto la casa

¹² Vattimo G., a cura di, *Martin Heidegger, Saggi e discorsi*, Mursia editore, Milano, 1980.

sul versante riparato dal vento, volto a mezzogiorno, tra i prati e nella vicinanza della sorgente. Essa gli ha dato il suo tetto di legno che sporge a grondaia per un largo tratto, inclinato in modo conveniente per reggere il peso della neve, e che scendendo molto in basso protegge le stanze contro le tempeste delle lunghe notti invernali. Essa non ha dimenticato l'angolo del Signore dietro la tavola comune, ha fatto posto nelle stanze ai luoghi sacri del letto del parto e dell'albero dei morti, come si chiama là la bara, prefigurando così alla varie età della vita sotto un unico tetto l'impronta del loro cammino attraverso il tempo. Ciò che ha costruito questo dimora è un mestiere che, nato esso stesso dall'abitare, usa ancora dei suoi strumenti e delle sue impalcature come di cose.». In quest'ultima frase ci viene espresso un concetto semplice ma fondamentale: il contadino sa cosa e come costruire, perché sa *abitare*. Heidegger fonde insieme due concetti apparentemente diversi, anche se legati fra loro. Come punto di partenza per la sua requisitoria il filosofo comincia dal considerare l'etimologia delle due concetti. L'antica parola altotedesca per *bauen*, costruire, è *buan*, e significa abitare. In questo modo egli vuole dimostrare come il significato autentico di costruire fosse in realtà abitare: «costruire significa originariamente abitare». Ricollegandosi alla parola *bin* (sono) in tedesco deriva da *bauen* (costruire), sottolinea come «il modo in cui tu sei e io sono, il modo in cui noi uomini siamo sulla terra, è il Buan, l'abitare. Essere uomo significa: essere sulla terra come mortale, e cioè: abitare.». Solo se abbiamo la capacità di abitare, sappiamo costruire.

In questo modo egli ci suggerisce, che solo chi abiterà la casa la saprà costruire. Non servono altre figure atte a questo scopo, in quanto solo chi sa abitare, e cioè gli abitanti, è in grado di farlo. Non solo. Come ricordato, l'abitazione era ancora più intrisa di significato, in quanto questo dipende anche dal modo in cui l'oggetto viene prodotto. La costruzione era un momento di partecipazione collettiva, allargata almeno a tutto il nucleo familiare, e spesso aiutato dalla comunità, ricaricando così la costruzione dell'abitazione di valori sociali e culturali, a oggi perduti. I costruttori non lo facevano di mestiere: certo, venivano assoldati anche artigiani specializzati per la

realizzazione di certi tipi di lavorazioni, ma la maggior parte dei lavori nell'architettura povera era realizzata dai futuri abitanti per se stessi.

Così è sempre stato nella storia dell'architettura. Per esempio, se dovessimo quantificare il contributo degli architetti, non dal punto di vista qualitativo, ma sulla base del numero di vani costruiti nel corso dei secoli, esso sarebbe insignificante. Al contrario di quanto può apparire, anche oggi questa situazione non è cambiata: del miliardo e più di edifici esistenti al mondo, sembrerebbe che circa l'80% sarebbero architettura spontanea¹³. In altri termini, gli edifici progettati da architetti e costruttori professionisti rappresentano solo una piccola parte dell'infrastruttura edilizia mondiale: la grande maggioranza delle persone in tutto il mondo vive in case costruite da loro e dai loro amici e parenti¹⁴. Ovviamente questo è più corrispondente al vero in alcuni regioni del pianeta, come Africa, Asia e America Latina.

3.3.1 Autocostruzione associata assistita

« L'insieme delle buone pratiche che emergono dal basso. »

- Maria Bottero -

Oggi chiamiamo la pratica di costruirsi la casa da sé, considerata la normalità fino a meno di un secolo fa, autocostruzione. In poche parole, autocostruzione significa autogestione del processo edilizio da parte dell'utenza, individuale o associata, in cui il promotore dell'intervento coincide con chi lo andrà a abitare, e contemporaneamente, a volte solo parzialmente, con chi lo costruirà. Al contrario di quanto si possa pensare, i partecipanti non devono essere in possesso di alcun requisito tecnico preliminare. Ogni autocostruttore, futuro abitante della casa che contribuisce a costruire, mette a disposizione il suo tempo, e in cantiere riceverà

¹³ Vellinga M., Oliver P., Bridge A., *Atlas of Vernacular Architecture of the World*, Routledge, Abingdon, Oxon, New York, 2007.

¹⁴ May J., con Reid A., *Architettura senza architetti, guida alle costruzioni spontanee di tutto il mondo*, Rizzoli, Milano, 2010.

adeguata formazione da parte dei tecnici responsabili presente, che è possibile considerare dei facilitatori, che assisteranno tutta la costruzione. Per questo si è soliti parlare di autocostruzione associata assistita. In funzione delle deleghe che l'utenza è in grado di attivare, i processi di autocostruzione si possono dividere in 4 categorie¹⁵:

- a) autogestione, ossia gestione dell'intervento senza impegno concreto nei lavori manuali;
- b) autoallestimento, gli autocostruttori realizzano le finiture a partire da un "rustico" già realizzato;
- c) autocostruzione parziale, gli autocostruttori realizzano gran parte del lavoro, lasciando la parte più impegnativa e rischiosa all'impresa;
- d) autocostruzione globale, tutte le fasi sono realizzate in autocostruzione.

Generalmente, per evitare possibili contrasti, le abitazioni da realizzare sono tutte uguali fra di loro, e solo al termine della costruzione verranno assegnate specificatamente.

Questo modo di procedere vuole riproporre ai giorni nostri un diverso modo di costruire rispetto allo standard, carico di valori sociali, culturali ma anche economici: «l'abitazione di massa promossa dai politici, finanziata dai banchieri, progettata da professionisti su richiesta dell'agente immobiliare e costruita da un imprenditore edile, non soddisferà mai i reali bisogni degli abitanti, e sarà sempre intrinsecamente antieconomica. Piuttosto, il coinvolgimento dell'utente nel processo abitativo garantirà utilità, economia e sostenibilità¹⁶.». Walter Segal (1907-1985), ideatore di un sistema costruttivo a travi e pilastri in legno che ha fatto scuola nell'ambito dell'autocostruzione (vedi pagina 236), sosteneva che la casa dovesse essere la naturale estensione di chi la abita e per questo deve dimostrare la creatività e l'operosità degli abitanti.

¹⁵ Rogora A., a cura di, *La sostenibilità dell'autocostruzione nell'E.R.P.: processi, politiche e riflessioni*, Libreria Clup edizioni Soc. Coop. 2006.

¹⁶ Intervista a Jon Broome, tratta da: 1998/99, Oprandi, L., *Autocostruzione e qualità dell'abitare, applicazioni evolute del Metodo Segal in Gran Bretagna*, Rel. Nardi G., Correl. Fabris L.M.F., Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura.

3.3.1.1 Costa meno

Dal punto di vista economico, un processo edilizio in autocostruzione permette di risparmiare molto sul costo della casa. In una normale abitazione la percentuale del costo di costruzione assorbita dalla manodopera è pari al 60%, e a volte anche di più. Se la forza lavoro viene prestata gratuitamente dai futuri proprietari-abitanti, di solito nei giorni festivi per un monte ore che si aggira intorno alle 60 ore mensili, si capisce come contribuendo alla realizzazione fai-da-te, si riesca a incidere sul prezzo finale. Questa pratica consente la messa disposizione di alloggi di medio - alta qualità con un costo finale di circa 500/600 euro al m².

Per far sì che l'intervento sia davvero competitivo dal punto di vista economico, l'area dove sorgerà l'edificio deve essere messa a disposizione dall'amministrazione locale, in un nuova ottica di edilizia residenziale pubblica. Per fare un esempio, in Lombardia l'autocostruzione è stata negli ultimi anni assunta all'interno dei regolamenti regionali, diventando uno degli strumenti di intervento dell'Aler¹⁷. Generalmente il Comune promotore dell'iniziativa, e l'Aler, mettono a disposizione l'area edificabile e attivano il progetto. La Regione Lombardia contribuisce con un cofinanziamento pari al 15% del costo convenzionale. L'Aler, tramite un mutuo anticipa i costi dei materiali e dei servizi di edilizia, e il cantiere può partire. Gli autocostruttori realizzano l'intervento. Le tipologie edilizie privilegiate per esecutività tecnica sono la casa unifamiliare a schiera e l'edificio a appartamenti di massimo tre piani, con una dimensione degli alloggi compresa tra 90 m² e 100 m². Dopo 10 anni è previsto il riscatto a prezzo bloccato totale o parziale della casa da parte degli abitanti: l'autocostruttore subentra al mutuo acceso da Aler, diventando a tutti gli effetti proprietario della casa.

3.3.1.2 Socialità

Tenere il prezzo basso ha, di per sé, un funzione sociale. Questo permette alle fasce più deboli della popolazione (immigrati, cassaintegrati/disoccupati, coppie giovani,

¹⁷ Azienda Lombarda Per l'Edilizia Residenziale.

donne sole, famiglie povere) di poter accedere alla proprietà della casa, o alla locazione con diritto di riscatto, a un costo ragionevole. A volte questo tipo di offerta abitativa è rivolta verso chi è troppo “ricco” per poter entrare nel circuito delle cosiddette case popolari, ma non abbastanza per poter accedere al libero mercato. Inoltre può essere un momento in cui sviluppare una socialità con i futuri vicini di casa. Sappiamo tutti come, soprattutto nella “città metropolitana”, i contatti umani con chi è separato da noi soltanto da un muro, siano quasi inesistenti. Costruire la propria casa oltre a essere una pratica faticosa ma di grande soddisfazione, può formare una sorta di gruppo, di comunità, unita dal lavoro per uno scopo comune, che sarà quella che poi materialmente andrà a abitare la costruzione. Ovviamente questo tipo di approccio chiama spontaneamente le pratiche abitative del *social housing*. In poche parole l'autocostruzione è un processo portatore e produttore di valori anti-globalizzazione.

3.3.1.3 Autocostruire la sostenibilità

L'autocostruzione chiama la sostenibilità edilizia, in quanto nella scelta dei materiali e delle tecniche costruttive si preferiranno tecnologie di costruzione a secco, più semplici e veloci nelle fasi di montaggio. Inoltre, considerando la forte caratteristica di sperimentazione di questo modo di costruire, e la propensione degli autocostruttori nel mettersi in gioco, imparando a riconoscere il valore dell'abitare al di fuori di ogni stereotipo, questo potrebbe essere l'ambito ottimale di sperimentazione del riuso di materiale di rifiuto in edilizia, per una riconversione ecologica del settore edilizio. L'autocostruzione quindi, ancora di più, potrebbe caratterizzarsi anche come una grande spinta all'innovazione nel settore edilizio, solitamente non propenso alla sperimentazione e legato a una grande inerzia culturale da parte di tutti gli attori, dai progettisti alle maestranze.

3.4 Il ruolo dell'architetto

«Non è detto che la gente sappia necessariamente di cosa ha bisogno e di cosa vuole, così come gli architetti dimostrano di non sapere cosa dare alla gente.»

Secondo quanto detto fin qui, la figura dell'architetto o del progettista in genere, sembra risultare grandemente ridimensionata. L'autocostruzione sembra scaricare di responsabilità la parte progettuale, e sicuramente quella realizzativa. Un'architettura senza architetti sembra profilarsi all'orizzonte. Tutt'altro. Riprendiamo il saggio «Costruire Abitare Pensare» di Heidegger, che già in precedenza ci ha chiarito le idee sulla base filosofica, culturale, sociale e morale dell'importanza di costruirsi la casa da sé. Heidegger, partendo dalla comprensione profonda della poesia di Hölderlin, analizza la frase «poeticamente abita l'uomo». «L'uomo non abita in quanto si limita a organizzare il proprio soggiorno sulla terra sotto il cielo, prendendosi cura, come contadino, di ciò che cresce, e insieme erigendo edifici. Un tal coltivare-costruire è possibile all'uomo solo se egli già costruisce nel senso poetante prender-misure. L'autentico coltivare-costruire accade in quanto vi sono dei poeti, uomini che prendono la misura per l'architettonica, per disposizione strutturata dell'abitare.». A differenza di quanto detto prima, ora sembra delinearsi nelle sue parole, la possibilità di una figura in grado di organizzare e prendersi cura dell'architettura. La figura dell'architetto sembra ora rinascere, sotto forma di poeti in grado di dar vita al vero abitare.

Heidegger è un pensatore, e come tale discute delle questioni del mondo. Se la figura dell'architetto è ancora necessaria e se di una qualche utilità essa goda ancora, la strada da intraprendere non è verso la poetica, ma verso la pratica. Ciò che si chiede a un architetto, soprattutto in un cantiere in autocostruzione, non è di rivoluzionare la sua professione, ma, al contrario, di tornare alla dimensione che ha

sempre avuto nel corso della storia, almeno dopo la rivoluzione brunelleschiana, e che oggi sembra aver perso. Brunelleschi segnò una svolta nel ruolo dell'architetto nella storia della civiltà e nel rapporto cultura-potere. Con Brunelleschi la figura dell'architetto esce dall'anonimato medievale e acquista responsabilità della costruzione in precisa aderenza a un disegno, o progetto. L'impronta personale all'opera, nasce prima a livello progettuale e poi si materializza nel cantiere. Si forma quindi la figura del progettista-costruttore, considerato come l'avvento dell'architetto moderno. La contrapposizione tra l'ingegnere che progetta le strutture e l'architetto che progetta le facciate, nel Quattrocento non si era ancora nemmeno profilata¹⁸.

Anche l'etimologia della parola stessa ci viene in aiuto. Il termine architetto deriva dal greco ἀρχιτεκτων (arkhitekton), parola composta da arkhi (capo), particella prepositiva che serve a denotare superiorità, eccellenza, autorità, ossia responsabilità e consapevolezza, e tekton (costruttore). L'unione delle due parole, quindi vorrebbe indicare la razionalizzazione e la regolamentazione dell'attività creativa del costruire qualcosa, o più semplicemente, identifica la figura del capo dei costruttori. Esso deve quindi riappropriarsi di una conoscenza profonda, diretta e partecipata del cantiere¹⁹, e della parte "scientifica" della materia di cui vuole essere esperto. Il progettista, al pari dell'utente, è così l'attore principale del processo edilizio.

3.4.1 Progettare per la gente

L'autocostruzione non elimina la figura del progettista, anzi lo carica di nuove e maggiori responsabilità. L'architetto si deve trasformare dalla figura del progettista che gioca con i solidi sotto la luce, o raramente, del tecnologo, alla figura del facilitatore del processo, di un *enabler* come lo chiama Walter Segal: deve diventare cioè quel qualcuno che aiuta la gente a realizzare il bisogno elementare che è l'attività di abitare.

¹⁸ Caronia G., *Ritratto di Brunelleschi*, Laterza, Roma, 1987.

¹⁹ Maria Bottero, in Rogora A., a cura di, *La sostenibilità dell'autocostruzione nell'E.R.P.: processi, politiche e riflessioni*, Libreria Clup edizioni Soc. Coop. 2006.

Progettare e lavorare fianco a fianco con il signor Rossi o la signora Maria comporta diversi cambiamenti nella professione. Dal punto di vista cantieristico l'architetto deve essere presente per controllare tutte le lavorazioni. Oltre a essere il direttore dei lavori e coordinatore alla sicurezza, egli dovrà essere un operatore sociale capace di dirimere i conflitti, di confrontarsi, di insegnare sul campo, facendo «valere la propria ragionevole autorevolezza basata sulla competenza»²⁰. In pratica dovrà essere il maestro dell'alfabetizzazione al processo di abitare²¹.

La rivoluzione principale avviene dal punto di vista progettuale. Come già detto mettersi nei panni di chi dovrà concretamente realizzare ciò che si disegna sarà determinante sul prodotto finale. In questa situazione allora diviene fondamentale trasformare il processo di costruzione verso qualcosa che assomiglia più a un processo di montaggio. Una sorta di filosofia IKEA, di LEGO, con la differenza dall'unicità dell'oggetto da realizzare, e non della standardizzazione. Giuseppe Cusatelli, uno dei primi in Italia a occuparsi di autocostruzione 30 anni fa, propone a supporto di questo tipo approccio delle schede di lavoro per gli autocostruttori in cui per ogni lavorazione in cantiere venga spiegato passo passo le operazioni da attuare, la loro successione e tempistica, i materiali e gli strumenti necessari.

Certe esperienze si sono spinte oltre, facendo partecipare gli utenti anche al processo di progettazione. In realtà, se questo contributo a monte non viene inserito all'interno di un sistema che lo possa condurre e focalizzare, rischia di essere fallimentare. Tuttavia, l'esperienza di Walter Segal è interessante per l'approccio proposto (vedi pagina 236).

3.4.2 Progettare con i rifiuti

Come se tutto ciò non fosse già abbastanza difficile, l'autocostruzione con materiali di recupero appare ancora più problematica. Se il progettista deve essere l'interfaccia

²⁰ Raiteri G., in Rogora A., a cura di, *La sostenibilità dell'autocostruzione nell'E.R.P.: processi, politiche e riflessioni*, Libreria Clup edizioni Soc. Coop. 2006.

²¹ Cusatelli G., in Rogora A., a cura di, *La sostenibilità dell'autocostruzione nell'E.R.P.: processi, politiche e riflessioni*, Libreria Clup edizioni Soc. Coop. 2006.

fra l'ambiente naturale e quello produttivo²², il suo obiettivo, allora, sarà quello di uscire dal naturale vocazione di progetti sperimentali, dimostrativi, per studenti, o emergenziali, portando l'uso dei rifiuti nell'usuale pratica edilizia. Oltre a un compito, per così dire, pubblicitario, il progetto in sé comporterà la risoluzione di problemi sull'impiego dei prodotti di scarto all'interno della costruzione, della loro messa in opera, delle loro caratteristiche di durabilità, resistenza, isolamento, ecc. Se per Martin Pawley²³ l'utilizzo dei prodotti per un secondo uso doveva essere previsto a monte della produzione, per ottimizzarne il successivo impiego, io personalmente ritengo come sia compito dell'intelligenza dell'architetto pensare, trovare e inventare il metodo migliore per facilitare l'uso di questi prodotti.

Come verrà ribadito nei prossimi capitoli, progettare con i rifiuti significa anche considerarne preliminarmente la disponibilità in loco. Prima di procedere al progetto tecnologico, è necessario identificare con certezza i materiali che verranno utilizzati. La scelta in questo caso non è fatta a tavolino, ma si orienterà in base alla disponibilità riscontrata sul campo. Saranno quindi effettuati accordi con le aziende incaricate della gestione dei rifiuti, con i consorzi dei produttori (come il CONAI per esempio), oppure direttamente recuperando gli scarti da dei processi industriali. Per progetti di ridotta dimensione o simbolici, il recupero potrà essere fatto dagli autocostruttori in via informale. Sarà possibile coinvolgere la cittadinanza con appositi punti di raccolta, oppure bussando alla porta di esercizi commerciali di privati, chiedendo la loro disponibilità a regalare i propri rifiuti, con lo scopo di farne delle costruzioni.

3.4.3 Sicurezza

La sicurezza in cantiere è un tema complesso, che comincia a livello della fase progettuale. Da questo punto di vista, la conoscenza del progettista di tutte le fasi di costruzione, e non solo del prodotto finito, gli permette di avere una visuale chiara

²² Molinari C., *Elementi di cultura tecnica*, Maggioli Editore, Rimini, 2001.

²³ Pawley M., *Garbage Housing*, Architectural press, Londra, 1975.

anche su come sia possibile ridurre al minimo i rischi propri delle lavorazioni e delle interferenze fra di esse.

Tuttavia, un cantiere in autocostruzione è abbastanza atipico. Il testo unico sulla sicurezza sul lavoro, il D.Lgs 81/2008 e s.m.i. identifica precisi doveri e responsabilità assegnate a ogni figura prevista. Peccato che nell'autocostruzione i lavoratori non fanno parte di nessuna impresa (non esistono quindi P.O.S.), non sono iscritti alla camera di commercio, non possono esibire il D.U.R.C. in quanto non sono pagati, non esistono datori di lavoro, non esistono veri e propri committenti (in quanto sono gli stessi operai), ecc. La qualifica di questo particolare processo edilizio è quindi difficile e non è possibile applicare la norma così com'è, ma è necessario interpretarla.

Lascio ovviamente questo compito a chi di competenza. In ogni caso però la sicurezza dovrà essere l'obiettivo anche in questo tipo di cantiere. E non essendo i lavoratori esperti dovrà essere prevista la dovuta formazione e informazione, e un maggiore controllo. Bisogna comunque sottolineare che non possono esistere due modi di lavorare, uno in sicurezza e uno non. Risulta chiaro quindi che chi spiegherà agli autocostruttori come procedere, mostrerà i rischi a cui potrebbero andare incontro e le precauzioni da mettere in atto. All'articolo 2 la norma infatti, qualifica come lavoratore anche il volontario o il socio lavoratore di cooperativa o di società. Per cui, indipendentemente da come il cantiere possa essere configurato in questo caso, tutte le prescrizioni previste dovranno essere applicate, non tanto perché lo dice la legge, ma perché è importante per evitare incidenti o situazioni che possano mettere a rischio la salute dei lavoratori.

3.5 Esperienze

Di seguito andrò a presentare delle esperienze avvenute nel corso degli anni nell'ambito dell'autocostruzione e in particolare del riuso di materiali di rifiuto. Personalmente, ritengo queste sperimentazioni fondamentali, più che per il risultato ottenuto, per il processo che dimostrano, e per le idee alla base che lo sostengono.

3.5.1 Metodo Segal

Walter Segal attraverso il suo sistema costruttivo ligneo per la realizzazione di abitazioni monofamiliari, arrivò alla definizione di una proposta a metà strada fra la sola autocostruzione e l'autoprogettazione. Il suo "metodo" verrà esposto con maggiore precisione più avanti (pagina 236), ma gli insegnamenti fondamentali sono essenzialmente i seguenti:

- la pianta dell'edificio viene impostata su una maglia modulare quadrata. Sia i moduli che la dimensione dell'edificio sono dettate dalle dimensioni standard degli elementi tecnologici (travi, montanti, pannelli isolanti) che verranno utilizzati. Il progetto si confronta fin dal primo momento con i materiali disponibili e a partire dalle loro dimensioni, si organizza secondo un modulo atto a garantire l'impiego dei suddetti materiali così come sono, evitando lavorazioni inutili e sfridi;
- l'impostazione modulare proposta permette la collaborazione degli abitanti anche nella fase di progettazione, che riescono in questo modo a disegnarsi la casa da sé, vincolandoli entro "binari" in cui ordinare il loro contributo;
- il sistema costruttivo proposto è molto semplice, tanto da poter essere affrontato da chiunque. Le fasi di lavoro sono previste e spiegate attraverso semplici indicazioni e disegni esplicativi. Poche persone possono realizzare l'edificio in poche settimane.

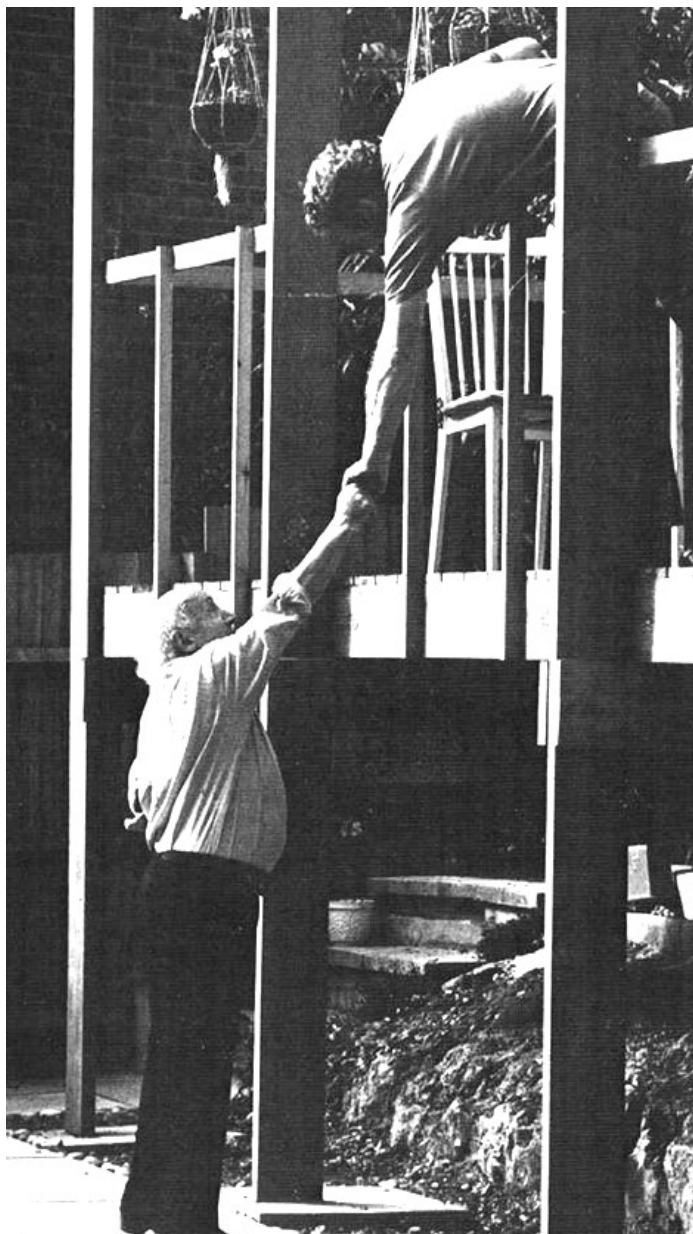


Illustrazione 14: Walter Segal (sinistra) e un autocostruttore. Sullo sfondo un'abitazione autocostruita.

Forse, la peculiarità di questo sistema, rispetto a altri che sposano l'idea della costruzione di abitazioni come kit di montaggio, è proprio la flessibilità e il coinvolgimento degli utenti fin dalla prima fase di disegno, assistiti dal progettista.

3.5.2 E.V.A.



Illustrazione 15: vista interna di una casa del progetto E.V.A.

Pescomaggiore è un piccolo paesino in collina vicino L'Aquila. Il terremoto del 6 aprile 2009, l'ha quasi completamente distrutto. Un gruppo di abitanti, invece di abbandonare il paese e di affidarsi alle cure del governo, ha deciso di rimbocarsi le maniche, «per continuare ad abitare la nostra terra e il nostro paese, per ricostruirlo da subito»²⁴. Così è nato il progetto E.V.A. (Eco Villaggio Autocostruito). A pochi passi dal paese, in un'area donata da dei concittadini, stanno costruendo da sé e con il contributo di volontari, 7 piccole abitazioni, per un costo totale di 150.000 € (circa 500 euro al m², un quinto di quello degli appartamenti del progetto C.A.S.E.),

²⁴ <http://eva.pescomaggiore.org/>

recuperati attraverso donazioni spontanee. I materiali usati prevalentemente sono quelli disponibili in loco. La struttura portante è in legno, la tamponatura è realizzata in balle di paglia, con una trasmittanza termica di $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$. Le case dispongono di sistemi solari attivi e passivi per contribuire al proprio fabbisogno di energetico. Una volta che il paese verrà ricostruito, questi edifici saranno adibiti a funzione pubblica. Anche se il progetto presenta molti aspetti problematici (costruzione ex-novo fuori dal centro storico, sistema costruttivo portante non particolarmente efficace in autocostruzione, morfologia dell'agglomerato e degli edifici banale), esso dimostra come dei cittadini informati, assistiti da dei progettisti coraggiosi, possono realizzare delle abitazioni a basso costo, con materiali naturali inusuali in ambito edilizio. Inoltre, proprio per la specificità dell'esperienza, l'atto di (ri)costruire, il “darsi da fare”, lavorare, sono serviti come sostegno psicologico alla popolazione colpita da quel terribile terremoto: autocostruzione come terapia.

3.5.3 Garbage Warrior



Illustrazione 16: un'abitazione *earthship* nel Nuovo Messico

Con questo titolo Oliver Hodge ha presentato nel 2007 un film documentario sulla vita dell'architetto Michael Reynolds. Mike si laurea in architettura nel 1969 e da

allora si dedica allo progetto e allo sviluppo di abitazioni autosufficienti, realizzate recuperando materiali di scarto, negli Stati Uniti (soprattutto in Nuovo Messico) e in Canada. Elabora il concetto delle *earthship*, navicelle terrestri. Case fatte di «pneumatici, fango e vetro», completamente autonome basate sulla climatizzazione solare passiva, sulla produzione di elettricità da fotovoltaico e eolico, trattamento controllato dei rifiuti, materiali naturali e riciclati, raccolta e riuso dell'acqua. L'*earthship* è una forma di architettura che unisce elementi spontanei e tecnologici, e mostra la strada verso un futuro sostenibile. L'idea della completa autonomia rispetto al sistema terrestre è affascinante ma al tempo stesso presenta criticità anche dal punto di vista sia ideologico che pratico. Esteticamente questi edifici, tutti diversi fra loro, si mostrano in forte contrasto rispetto ai modelli prevalenti, proponendo immagini eccentriche e gioiose, quasi rococò.

3.5.4 Garbage Housing

Martin Pawley fu l'autore di uno dei libri fondanti della teoria dell'uso dei rifiuti in architettura, dal titolo "Garbage Housing", più volte richiamato nel corso di questo scritto. Nel 1972 fu invitato a una conferenza internazionale sull'abitazione in Cile. L'emergenza abitativa era una massima priorità dello stato in quel periodo e in quest'occasione la classe dirigente cilena voleva cercare una soluzione al problema. Pawley redasse un paper contenente alcuni concetti che poi riportò nel suo libro, sul motivo del fallimento di una politica alla casa di tipo occidentale, e sulle potenzialità che il costruire con i rifiuti poteva avere se indirizzato a livello statale. Purtroppo le sue tesi non trovarono appoggio, ma non tutto il suo impegno andò perduto. Dopo quell'incontro riuscì a ottenere un accordo con il dipartimento di architettura della Cornell University, per la costruzione di moduli sperimentali e l'analisi di alcuni dati di fattibilità del progetto di Garbage Housing in Cile. Gli studenti progettarono e costruirono 3 moduli da 25 m² ciascuno, realizzati con materiali di recupero, costati 30 uomini/ora e 1,80 dollari/m² (del 1972). Purtroppo il programma collassò a

nemmeno un anno dalla sua nascita a causa del crollo delle condizioni politiche e economiche Cilene.

3.5.5 Rural Studio



Illustrazione 17: Rural Studio, Harris House (Butterfly).

Rural Studio è una scuola fondata nel 1992 in Alabama da Samuel Mockbee, come laboratorio operativo distaccato della Auburn University. Lo scopo è quello estendere lo studio dell'architettura in un contesto responsabile a livello sociale. Le soluzioni sperimentate cercano di soddisfare i bisogni di una comunità di persone che vivono in condizioni di povertà. In una simile situazione l'operosità e l'ingegno di Rural Studio si manifestano in abitazioni e edifici pubblici a basso costo, che spesso reimpiegano materiali di riciclo, di varia tipologia e provenienza. Il materiale da utilizzare non è scelto a priori, ma secondo la sua disponibilità nel momento in cui si realizza il progetto: targhe di automobili, parabrezza di vecchie macchine da corsa, tagli di moquette da rifiuti diventano materiali da costruzione. L'uso di questi

materiali insoliti è accompagnato da quelli più tradizionali, come legno e acciaio, e da tecniche costruttive consolidate, pur mantenendo basso il costo finale dell'opera. Inoltre sono impiegate tecnologie semplici, in modo da consentire una facile esecuzione in opera. Sono infatti gli studenti stessi che realizzano i progetti, senza servirsi di manodopera specializzata, aiutati dagli stessi abitanti. In questo modo, si crea uno stretto legame tra le parti, che collaborano insieme alle fasi della costruzione. Le necessità della comunità diventano i capisaldi fondanti del progetto, senza imporre soluzioni sradicate dal contesto. È mia opinione che la particolarità di questa esperienza non sia tanto il fine prettamente assistenziale, ossia quello di dare un tetto a persone in condizioni di disagio. O almeno non solo. Rural Studio dona a queste persone l'Architettura. I progetti realizzati propongono una buona qualità estetica, utilizzando materiali poveri, dimostrando come conti molto di più una buona progettazione rispetto a un buon conto in banca. Come afferma l'attuale direttore «suona un po' romantico, ma se gli architetti non riescono a migliorare il mondo, non rimangono molte persone che si trovano in una posizione migliore per farlo.»

3.5.6 Hassan Fathy

Con il libro *Costruire con la gente*²⁵ (1ª edizione 1969), Hassan Fathy, architetto (e antropologo) egiziano, descrive la sua esperienza di costruzione di un nuovo villaggio in Egitto. Egli viene incaricato dal Ministero delle Antichità nel 1945, della costruzione di questo villaggio, per trasferire circa 7.000 persone, tombaroli, abitanti in un piccolo abitato fatiscente posto sul vecchio cimitero di Tebe nei pressi di Luxor. Fathy non solo riscopre la tecnica delle volte e cupole in terra cruda (unico materiale veramente abbondante nel paese a costo zero) ma progetta questo nuovo insediamento da molti punti di vista, grazie alla sua conoscenza di storico, antropologo, sociologo, urbanista, epidemiologo, fisico, tecnico, ecc. Il cantiere di Nuova Gourna, così il nome del villaggio, condizionato da un budget molto ristretto,

²⁵ Fathy H., *Costruire con la gente, storia di un villaggio d' Egitto: Gourna*, Jaca Book, Milano, 1986.

si presenta come eccezionale sia per le risorse umane (costituite dalla forza lavoro degli stessi futuri abitanti) sia per le risorse materiali (ridotte essenzialmente ai mattoni in terra cruda prodotti nelle adiacenze del cantiere via via che esso procedeva). Il progetto si fonda inoltre su considerazioni dell'organizzazione sociale della popolazione, e fornendo un passaggio graduale dalla dimensione della vita privata a quella della vita pubblica fondata sul riconoscimento dell'identità personale degli abitanti. Nel complesso Nuova Gourna era dunque un progetto non soltanto urbanistico-architettonico, ma anche economico-sociale, di riabilitazione di una comunità rurale di ladri, e inoltre, un banco di prova per le idee di Fathy. Il progetto non andò a buon fine a causa del boicottaggio ricevuto su due fronti: dal governo e dagli abitanti. Nonostante ciò, le ultime pagine del libro sono cariche di parole di speranza.



Illustrazione 18: villaggio Nuova Gourna.

3.5.7 Quinta Monroy

Quinta Monroy è una baraccopoli situata al centro di Iquique, una città nel deserto, 1.500 km a nord di Santiago in Cile. In questa zona, nel 2003, è stato proposto, dal gruppo Elemental, un approccio interessante alla realizzazione di abitazioni dignitose per la popolazione. Dopo diverse ipotesi e confronti con la popolazione, per la scelta della tipologia migliore dal punto di vista urbanistico e architettonico, anche in relazione al budget di 7.500 dollari a famiglia, si è optato per un edificio in linea su due piani, che però fosse edificato solo per il 50%. I pori rimasti sono lasciati alla libera costruzione degli abitanti, che in questo modo possono autocostruire all'interno di una griglia ben definita: un'abitazione a crescita graduale. Questa maglia non solo è utile come elemento ordinatore di una crescita che altrimenti sarebbe disordinata e deleteria, ma serve anche da struttura portante per l'espansione. In questo modo inoltre, la monotonia della costruzione in prefabbricato, necessaria per mantenere i prezzi bassi, è rotta dalla libera iniziativa edificatoria degli utenti, che possono personalizzare la propria casa, essendo al tempo stesso parte di un edificio più grande.



Illustrazione 19: vista frontale dell'intervento prima e dopo l'occupazione da parte degli abitanti.

3.5.8 Seiv de farm



Illustrazione 20: autocostruzione di una parete in bancali di legno.

L'esperienza che andrò brevemente a raccontare di seguito ha poca valenza dal punto di vista accademico, ma molta dal punto di vista personale. Nell'ultimo anno, cioè da quando ho incominciato questo lungo percorso di tesi su questo, ho partecipato, insieme a altri ragazzi, a varie esperienze di autocostruzione, proposte all'interno del gruppo «Seiv de farm». Tutto è nato dalla volontà di impegnarci per la salvaguardia della Cascina Torchiera Autogestita a Milano, attraverso dei lavori che da un lato fossero utili alla risanamento dell'edificio, e dall'altro potessero promuovere pratiche informali di costruzione con materiali di recupero in autocostruzione. All'attivo il gruppo ha una parete composta da bottiglie di birra in vetro recuperate (pagina 283), e una parete in bancali di legno. Inoltre abbiamo realizzato in occasione del «Festival NoExpo» una cupola geodetica in canaline di plastica (pagina 270). Tutti questi interventi, anche se piccoli, mi hanno permesso di confrontarmi direttamente con i tutti i problemi che comporta passare dalla parole ai fatti. Inoltre, è stato utile il confronto con gli altri ragazzi del gruppo, che se anche non esperti del campo architettonico, hanno contribuito anche alla fase di progetto.

Ovviamente è stato molto complesso far quadrare tutte le voci in campo, a dimostrazione che forse, come sostiene Cusatelli (vedi pagina 160), l'autoprogettazione, legata alla manifestazione libera di proposte, può diventare frustrante e soprattutto inutile alla realizzazione di un buon progetto. Tuttavia, dimostrando la validità delle proprie idee di volta in volta, si è riusciti a trovare sempre un accordo per poi precedere alla costruzione di questi esperimenti. Queste esperienze hanno anche dimostrato come sia possibile impegnare parti di territorio abbandonate o dimenticate attraverso la sperimentazione di modi differenti di costruire.

3.5.9 Infopoint

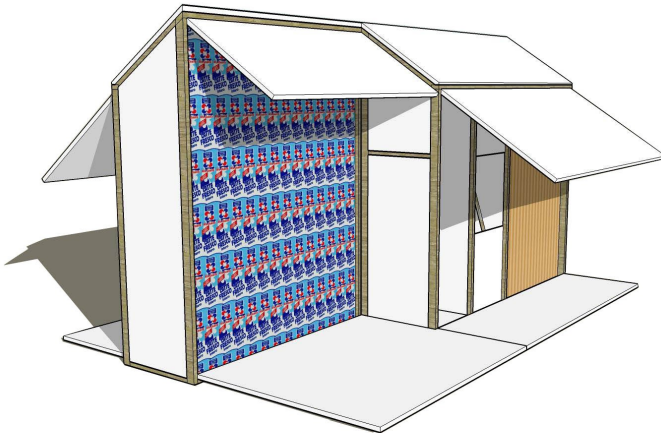


Illustrazione 21: infopoint.

Anche in questo caso vorrei presentare una esperienza personale. Durante il tirocinio nello studio TME (Legnano) dell'architetto Edoardo Fioramonte e del prof. Arch. Alessandro Rogora, ho affrontato insieme a una mia collega, Fabiola Quietì, lo studio e il progetto di un modulo informativo sperimentale, realizzato con materiali di recupero. Questo info-point avrebbe dovuto far mostra di sé, e dimostrare ai

visitatori come fosse possibile realizzare componenti edilizi a prima vista standard, con elementi di recupero. Questa piccola costruzione doveva rispondere inoltre a requisiti di reversibilità, facilità di trasporto, basso costo di produzione, autocostruibilità, rapidità di montaggio, facilità di stoccaggio, modularità, flessibilità e dimensione ridotta. Il progetto doveva essere facilmente trasportabile, e di aumentare la sua dimensione una volta in opera. Io e la mia collega abbiamo progettato il modulo diviso in due parti, in modo tale che queste potessero essere traslate fra loro e si potessero aprire con delle ante incernierate orizzontalmente, a creare la copertura e il pavimento del punto informativo.

3.6 Riassumendo

Nel corso della trattazione abbiamo visto come la situazione ambientale mondiale ci ponga davanti a scelte importanti, non più rimandabili. Il nostro attuale modello di sviluppo ha dimostrato la sua fallacia, sia da un punto di vista locale che globale. I cambiamenti che dovranno essere intrapresi, se vogliamo migliorare la condizione umana, riguarderanno sempre di più il settore delle costruzioni, l'attività umana a più alto impatto ambientale. Considerando inoltre l'aumento demografico e l'incremento dell'urbanizzazione nei prossimi decenni, non solo i consumi degli edifici ma anche il loro processo di costruzione e i materiali di cui si compongono, saranno aspetti fondamentali della questione. Come dimostrato, il riuso dei rifiuti nell'ambito di cantieri in autocostruzione potrebbe rispondere a molte delle domande che ci siamo posti nelle prime pagine del testo. Non solo dal punto di vista ambientale ma anche dal punto di vista sociale e culturale, questa potrebbe essere una delle soluzioni possibili. Parecchi ostacoli si prospettano innanzi a questa scelta, molti dei quali si basano su pregiudizi e stereotipi prettamente occidentali. A livello globale, la maggior parte delle abitazioni sono realizzate dagli stessi abitanti, con gli unici materiali a costo zero disponibili, ossia i rifiuti. Non si tratta di inventare niente di nuovo quindi, ma di riconoscere quelle esperienze come la vera architettura spontanea moderna, e di risolvere le grandi problematiche, sviluppando le enormi potenzialità, che essa porta con sé. Questioni come le prestazioni tecnologiche dell'involucro, la stabilità e sicurezza strutturale, e i valori estetici, dovranno essere soddisfatte per poter competere con lo standard costruttivo comune. Abitare in una casa realizzata a partire da materiali post-consumo non può volere dire accontentarsi di scarsa qualità architettonica o edilizia. Se l'aspetto puramente percettivo, che come ho già detto ha molta importanza per abbattere lo "stereotipo della baracca", è lasciato all'architetto nel corso di ogni singolo progetto, il tema tecnologico deve essere affrontato con sistematicità e chiarezza. Proprio a questo scopo, nelle prossime pagine di questa tesi

presenterò una sorta di manuale d'uso dei rifiuti in architettura, in cui sono stati ricompresi concetti generali alla base di una corretta progettazione in autocostruzione, le esperienze presenti in questo campo, e alcune idee originali, organizzate secondo classi e elementi tecnologici. Il mio intento è quello di dare organicità alla questione, fornendo un supporto tecnico e descrittivo a chiunque volesse intraprendere un processo di costruzione in questo senso. L'approccio proposto tenterà di ribaltare le logiche progettuali usali, portando la scelta dei materiali (di scarto) con cui realizzare la costruzione, e la logica di chi effettivamente andrà a costruirla (ossia i futuri abitanti), all'apice della piramide della decisionale.

4. Manuale

Indice capitolo

4. Manuale	177
4.1 Premessa.....	182
4.1.1 Kandinskij insegna.....	182
4.1.2 Progetto VS prodotto.....	183
4.1.3 Best reuse practices.....	184
4.1.4 Chi cerca trova.....	186
4.2 Struttura portante.....	187
4.2.1 Struttura di fondazione.....	189
4.2.1.1 Fondazioni dirette discontinue.....	192
4.2.1.2 Fondazioni dirette continue.....	194
4.2.2 Struttura di elevazione.....	196
4.2.2.1 Strutture portanti in elevazione a telaio.....	197
Strutture a telaio in legno.....	201
Legno come materiale da costruzione.....	204
Caratteristiche istologiche.....	204
Caratteristiche strutturali.....	205
Resistenza al fuoco.....	210
Resistenza al sisma.....	211
Pannelli di legno.....	213
Elementi strutturali in legno.....	215
Sezioni circolari.....	215
Sezioni quadrate e profilate.....	216
Elementi strutturali composti.....	217
Diaframmi.....	224
Unioni meccaniche.....	227

Metodi costruttivi in legno.....	231
Sistemi costruttivi di tipo massiccio.....	231
Sistemi costruttivi di tipo leggero.....	232
Sistema Lorenzo.....	235
Metodo Segal.....	236
Bambù.....	240
4.2.2 Strutture in elevazione a parete portante.....	246
Balloon frame.....	247
Platform frame.....	248
Papercrete.....	254
Tubi di cartone.....	259
Copertoni.....	263
4.2.2.3 Strutture portanti spaziali.....	265
Strutture a superficie curva.....	266
Strutture spaziali reticolari	267
Tensostrutture.....	273
4.3 Chiusura.....	275
4.3.1 Chiusure verticali.....	277
4.3.1.1 Pareti perimetrali non portanti.....	277
Papercrete.....	277
Lattine di metallo.....	278
Bottiglie di vetro.....	279
Bottiglie di plastica.....	285
Tetra Pak.....	290
Scatole di cartone.....	292
Bancali in legno.....	296
Vasetti di yogurt.....	301
Cassette della frutta.....	301
4.3.1.2 Infissi esterni verticali.....	302

4.3.2 Chiusure inferiori.....	304
Vasetti di yogurt.....	305
Bottiglie di vetro.....	307
4.3.3 Chiusure superiori.....	308
Lattine di metallo.....	309
Papercrete.....	310
Tetra Pak.....	310
4.4 Partizioni interne.....	312
4.4.1 Partizione interna verticale.....	312
4.4.2 Partizione interna orizzontale.....	313
Vasetti di yogurt.....	313
Bancali in legno.....	313
Tubi di cartone.....	314

Classi di unità tecnologiche	Unità tecnologiche	Classi di elementi tecnici
Struttura portante	Struttura di fondazione	Strutture di fondazione dirette
	Struttura di elevazione	Strutture di elevazione verticali
		Strutture di elevazione spaziali
Chiusura	Chiusura verticale	Pareti perimetrali verticali
		Infissi esterni verticali
	Chiusura inferiore	Solai a terra
	Chiusura superiore	Coperture
Partizione interna	Partizione interna verticale	Pareti interne verticali
	Partizione interna orizzontale	Solai

Elementi tecnici	Esempi
Fondazioni dirette discontinue	Cis (pag. 192)
	Cis appoggiate (pag. 192)
Fondazioni dirette continue	Cis (pag. 194)
	Appoggiate (pag. 194)
Strutture portanti in elevazione a telaio	Legno (pag. 201)
Strutture in elevazione a parete portante	Platform frame (pagina 248)
	Papercrete (pagina 254)
	Tubi di cartone (pag. 259)
	Copertoni (pag. 263)
Strutture a superficie curva	Papercrete (pag. 266)
Strutture spaziali reticolari	Canaline di plastica (pag. 270)
Tensostrutture	Telo per camion (pag. 273)
Pareti perimetrali verticali	Papercrete (pag. 277)
	Lattine di metallo (pag. 278)
	Bottiglie di vetro (pag. 279)
	Bottiglie di plastica (pag. 285)
	Tetra Pak (pag. 290)
	Scatole di cartone (pag. 292)
	Bancali in legno (pag. 296)
	Vasetti di yogurt (pag. 301)
Infissi esterni verticali	Cassette della frutta (pag. 301)
Solai a terra	Infissi recuperati (pag. 302)
	Vasetti di yogurt (pag. 305)
Coperture	Bottiglie di vetro (pag. 307)
	Lattine di metallo (pag. 309)
	Papercrete (pag. 310)
Pareti interne verticali	Tetra Pak (pag. 310)
Solai	Vedi pareti perimetrali non portanti
	Vasetti di yogurt (pag. 313)
	Bancali in legno (pag. 313)
	Tubi di cartone (pag. 314)

4.1 Premessa

4.1.1 Kandinskij insegna

« Il sole tramontava, tornavo dopo avere disegnato e ero ancora tutto immerso nel mio lavoro, quando aprendo la porta dello studio, vidi davanti a me un quadro indescrivibilmente bello. All'inizio rimasi sbalordito ma poi mi avvicinai a quel quadro enigmatico, assolutamente incomprensibile nel suo contenuto, fatto esclusivamente di macchie di colore. Finalmente capii: era un quadro che avevo dipinto io e che era stato appoggiato al cavalletto capovolto.»¹

- Vassilij Kandinskij -

Così Vassilij Kandinskij ricorda il momento in cui si aprì, davanti a lui, la strada dell'Astrattismo. Egli, per puro caso, vide un proprio quadro figurativo capovolto, perdendo in questo modo ogni capacità di comprendere cosa vi fosse rappresentato. La tela apparve così per quello che era: un insieme di colori. Chissà quante volte sarà capitato a un pittore di vedere i suoi quadri sottosopra, ma solo in quell'occasione Kandinskij fu pronto a recepirne il messaggio. Ho utilizzato questa breve digressione nella storia dell'arte come paragone con l'approccio culturale da cui nasce questo manuale² sull'utilizzo di materiali provenienti da filiera non edilizia, in Architettura. Come ho già detto più volte, per accettare realmente la pratica del riuso in edilizia, senza relegarla a soggetti ai bordi della società (utopisti, ambientalisti, artisti o disagiati), è indispensabile spogliarsi di tutti i pregiudizi tecnologici rispetto a questi prodotti e al loro possibile uso. Imparando dall'esperienza di Kandinskij, è necessario capovolgere l'idea che abbiamo delle cose che ci circondano, imparandole a vedere

¹ Vassilij Kandinskij, *Lo spirituale nell'arte*, a cura di E. Pontiggia, SE editrice, Milano, 1989.

² Il titolo può sembrare alquanto presuntuoso. In realtà, quanto andrò a esporre non ha la pretesta né di esaurire tutte le esperienze possibili in questo campo, né di cristallizzarne i risultati. Con il termine manuale ho voluto semplicemente esprimere la speranza contenuta nell'etimologia stessa della parola, e cioè che di questo lavoro se ne possa fare un «uso frequente e averlo spesso in mano».

per quello che sono e non solo per la funzione che ricoprono. Questo sforzo culturale ci viene richiesto urgentemente dalla situazione ambientale del mondo in cui viviamo. Non è più giustificabile (e forse mai lo è stato) lo sfruttamento incontrollato di risorse naturali e l'assorbimento di rifiuti a carico dell'ecosistema. Al contrario di quanto si può pensare, non si tratta di sposare una visione ecologista, ma di sceglierne una egoistica e consapevole: salvare il mondo per salvare noi stessi. Il target a cui questo lavoro si riferisce, è a metà strada fra l'autocostruttore e l'architetto. Gli argomenti non sono trattati con la dovuta elementarità con cui si dovrebbe parlare a chi non è un «addetto ai lavori», ma l'approfondimento non è tale, per poter essere sufficiente all'architetto per acquisire la necessaria padronanza di questi argomenti. Ingenuamente, spero possa essere una guida per entrambi: da un lato, di aiuto all'autocostruttore per capire in che ambito si gioca la partita, e dall'altro utile all'architetto, che trova nelle prossime pagine un punto da cui partire per approfondire queste tematiche.

4.1.2 Progetto VS prodotto

Generalmente, il progettista sceglie i materiali da utilizzare secondo diversi criteri, agenti spesso contemporaneamente, quali il costo, l'estetica, la velocità e la facilità di esecuzione, le prestazioni fornite, e a volte, l'impatto ambientale. Determinate queste variabili, la scelta non è soggetta alla verifica dell'effettiva disponibilità del materiale, tranne per materiali speciali o a causa del momentaneo esaurimento delle scorte di magazzino. Questo modo di procedere non vale però per chi ha intenzione di autocostruirsi una casa fatta di rifiuti. Quest'ultimi sono in stretta relazione con il luogo dove il consumo è avvenuto: il loro riutilizzo è, e deve essere, necessariamente a “chilometro zero”³. Interviene così la necessità di raccolta di informazioni sulla tipologia e sulla quantità dei materiali effettivamente disponibili sul posto e di facile reperibilità. In questo modo, a seconda di quale materiale avrò a disposizione, dovrò

³ Ciò vale soprattutto per quelle parti del mondo in cui i consumi e le infrastrutture di commercio non sono tali da garantire flussi abbondanti e eterogenei di rifiuti.

cambiare poche, alcune o molte caratteristiche del progetto. Questo ribalta la successione della fasi del processo progettuale, portando la disponibilità di un certo tipo di materiale all'apice della piramide decisionale:

da: progetto → materiale

a: materiale → progetto

Tutto ciò è ancora più rilevante se si considera che fino a ora si è discusso erroneamente di materiali, mentre invece andrebbero considerati direttamente i prodotti, che di questi materiali sono fatti. Non ha senso parlare di plastica, carta o vetro ma di bottiglie di plastica, tubi di cartone, bottiglie di vetro, ecc. Le dimensioni, la forma, la sezione degli elementi di rifiuto che andranno impiegati sono spesso più importanti del materiale di cui sono costituiti, in quanto determineranno la scelta del sistema costruttivo-tecnologico, portando così a un'ulteriore trasformazione:

da: materiale → progetto

a: prodotto → progetto

È in questa diversa sequenza di fasi che si trova la ragion d'essere di questo lavoro: il manuale vuole essere una guida per effettuare la scelta del sistema tecnologico in autocostruzione più efficace e efficiente, a partire dalla disponibilità di rifiuti, che il lettore dovrà conoscere preliminarmente⁴. Quanto detto non elimina gli altri fattori determinanti la scelta del miglior sistema tecnologico per il progetto (velocità di montaggio, facilità di esecuzione, economicità, ecc.), ma ne aggiunge un'altra: quella della disponibilità reale degli oggetti di rifiuto da poter utilizzare.

4.1.3 Best reuse practices

Il manuale è organizzato attraverso un sistema “a cassette”, a formare un database di collezione, riordino e sintesi, in cui sono organizzate le informazioni secondo un

⁴ Della normativa sui rifiuti e di come il recupero del materiale possa essere effettuato si è trattato nei capitoli precedenti e è a essi che si fa riferimento.

ordine prestabilito. Queste sono esperienze e sperimentazioni che ho raccolto dalla letteratura a disposizione (fra cui molti lavori di tesi di facoltà), dalla rete, che mi ha dato la possibilità di prendere visione anche di alcuni film-documentari sul tema⁵, da alcune mie personali prove sul campo e, in piccola parte, da idee originali che ho elaborato nel corso di stesura del presente lavoro. Mi auguro che il risultato finale sia maggiore della somma delle singole parti: un piccolo manuale sulle best reuse practices in edilizia.

La classificazione è avvenuta sulla base scomposizione del sistema tecnologico di un edificio residenziale proposto dalla norma UNI 8290-1⁶. Degli elementi tecnici considerati sono stati indicati i materiali, le tecnologie utilizzate, le caratteristiche strutturali e le fasi di messa in opera in autocostruzione. In assenza delle informazioni necessarie, ho cercato di fornire indicazioni di tipo qualitativo. Ovviamente alcuni di questi “cassetti” sono rimasti vuoti, principalmente per due motivi: in primo luogo non è possibile conoscere esaustivamente il campo dell'autocostruzione con materiale di recupero, e raccogliere tutte le informazioni disponibili, anche perché certe potrebbero non essere state mai per formalizzate su carta; per secondo, il giorno successivo alla stampa, il manuale sarebbe obsoleto (ammesso che non lo sai già ora!) per il susseguirsi di nuove esperienze. Un sistema finito e perfetto sarebbe destinato a morire. Sarebbe auspicabile quindi che questo processo di conoscenza non termini con la mia laurea, ma si sviluppi nel tempo. Per attuare questa idea molto affascinante, sarebbe necessaria la realizzazione di uno spazio web, in cui questa tesi venga riversata, a disposizione degli utenti interessati e in modo tale che anche quest'ultimi possano caricare le loro esperienze e invenzioni, riempiendo gli innumerevoli “cassetti” a disposizione.

E se i rifiuti che la nostra società produce, sono tipologicamente definiti, le idee su

5 Oliver Hodge, *Garbage Warrior*, 2007

6 La scomposizione presenta tre livelli e dà luogo a tre insiemi denominati come segue (vedi inoltre indice a pagina 180):

- classi di unità tecnologiche (primo livello)
- unità tecnologiche (secondo livello)
- classi di elementi tecnici (terzo livello)

come assemblarli, unirli, modificarli, elaborarli, ibridarli sono infinite. È quindi sull'idea semplice e geniale che l'impiego di oggetti di rifiuto in un cantiere in autocostruzione può arrivare a superare in qualità l'edilizia della cemento e della standardizzazione. Voglio prendere a modello il ponte autoportante di Leonardo da Vinci. Il ponte non necessita spinte esterne come pile o spalle. Il principio è tutto basato sulla gravità e sulle leve per autosostenersi, senza la necessità altre lavorazioni se non quelle di realizzare gli incavi nelle sezioni dei tronchi, dove andranno appoggiate le aste. Insomma, un'idea geniale nella sua semplicità costruttiva, in grado di essere realizzata velocemente e da chiunque senza bisogno di complicati procedimenti: un esempio perfetto di quanto è necessario per un'architettura del riuso.

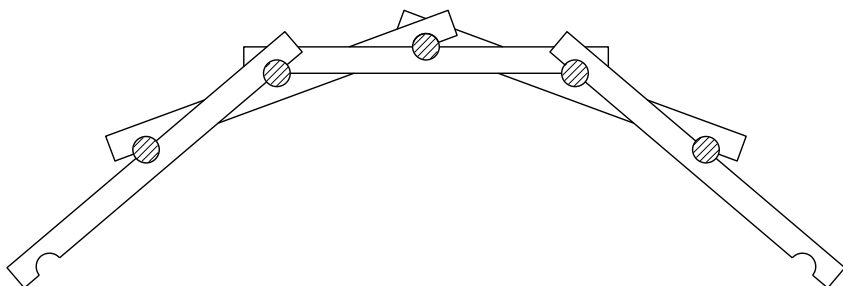


Illustrazione 22: ponte reciproco di Leonardo Da Vinci, prospetto.

4.1.4 Chi cerca trova

Il manuale, data la sua "poliedricità", è dotato di 3 differenti tipologie di indice, per soddisfare ogni tipo di ricerca al suo interno. Il primo, a pagina 177, è il più comune e si basa sull'elenco dei vari punti del capitolo a seconda della loro posizione. A pagina 180 è presente un'indice sinottico che riporta gli argomenti trattati in relazione alla scomposizione attuata dalla norma UNI 8290-1. A pagina 323 è presente una sorta di indice che suddivide i vari prodotti di consumo a seconda del loro materiale, come nella raccolta differenziata.

4.2 Struttura portante

La struttura portante⁷ ha il compito di resistere e assorbire azioni di differente natura statiche o dinamiche (come per esempio nel caso di terremoti), e di trasferirle alle fondazioni, e da queste a terra. Gli Eurocodici⁸ intendono come struttura «insieme organizzato di parti tra loro collegate, progettato in modo tale da ottenere una rigidezza adeguata». Qualsiasi struttura dovrà, in estrema sintesi, rispettare, durante tutto il corso della vita utile della costruzione, questa disequazione:

$$\text{resistenza} \geq \text{azione}$$

ossia, per garantire la sicurezza strutturale⁹, le azioni agenti su di essa non dovranno mai superarne la resistenza. In realtà la struttura, con appropriati margini di sicurezza, deve essere anche in grado di:

- sostenere le azioni statiche (e dinamiche) alle quali è sottoposta;
- funzionare in modo corretto durante la vita utile prevista;
- possedere una durabilità adeguata.

In pratica, deve essere sufficientemente resistente, rigida e durevole. Nei secoli scorsi,

7 «Insieme delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici appartenenti al sistema edilizio aventi funzione di sostenere i carichi del sistema edilizio stesso e di collegare staticamente le sue parti.» (Fonte: UNI 8290-1)

8 Gli Eurocodici costituiscono un «gruppo di norme per la progettazione strutturale e geotecnica degli edifici e delle opere di ingegneria civile», redatti dal C.E.N. Sono una sorta di normativa quadro a cui gli Stati, per redigere specifiche norme nazionali, e i progettisti, qualora la normativa nazionale sia mancante, possono fare riferimento.

9 In Italia con il D.M. 14 gennaio 2008 sono stata approvate le *nuove* Norme Tecniche delle Costruzioni, che trattano gli aspetti della sicurezza strutturale delle opere. In queste norme, nelle quali si contempla finalmente anche il legno come materiale strutturale, si definiscono le modalità di calcolo, esecuzione, collaudo, sia in materia sismica e nell'impostazione semi-probabilistica della sicurezza. La sua valutazione deve essere obbligatoriamente svolta secondo il metodo degli stati limite (ultimi e di esercizio) sulla struttura, sui componenti della stessa e sui collegamenti. Si ricorda che il progetto strutturale è una parte fondamentale di tutto il progetto, e che può essere redatto esclusivamente da tecnico competente (ingegnere o architetto).

la progettazione strutturale era basata sulla conoscenza empirica, acquisita osservando le strutture che mostravano una sufficiente resistenza in opera, e copiandone le proporzioni. Ogni differenza da ciò che la tradizione insegnava, era sperimentato alla “cieca”, e fallimento dopo fallimento, si riuscirono a trovare soluzioni strutturali innovative, applicate magnificamente per esempio nell'architettura gotica. In passato la struttura portante era coincidente con la costruzione stessa dell'edificio, in quanto non vi era differenza fra la funzione portante e quella di tamponamento: la parete assolveva queste due compiti. Tuttavia già nel paramento murario del Pantheon (II secolo d.C.) è possibile notare la presenza di archi di scarico nella muratura, ossia linee preferenziali di scarico delle forze, embrione di quello che sarà poi sviluppato e portato alla cristallizzazione nell'architettura gotica, con una profonda specializzazione delle parti, in portanti e portate. A oggi è possibile quindi suddividere le strutture portanti verticali in due macro categorie:

- strutture portanti puntiformi;
- struttura portanti a elementi continui.

La scelta fra questi due sistemi resistenti è fatta in fase preliminare e determina in larga parte le caratteristiche tecnologico-strutturali dell'edificio, dalle fondazioni alla copertura. A livello generale è possibile stabilire che le strutture portanti puntali sono le più efficienti in quanto specializzate nella sola funzione portante, concentrando le forze in pochi elementi lineari di elevata qualità.

Detto ciò, è necessario ricordare che nella filosofia di questo manuale, anche questa valutazione andrà effettuata considerando i rifiuti (per noi risorse) disponibili. Proprio per questo è necessario tenere presente questo concetto: la sezione resistente necessaria può essere raggiunta a partire da elementi più piccoli assemblati¹⁰ tra loro. Questo può portare per esempio a realizzare un pilastro attraverso aste legate

¹⁰ In realtà è molto difficile, soprattutto con mezzi meccanici, ottenere un collegamento che elimini i possibili scorrimenti fra le parti, rendendole perfettamente solidali. Tuttavia è possibile considerare questo “difetto” nel calcolo strutturale.

insieme, come fa Alvar Aalto (vedi pagina 216), oppure affiancandoli e “spalmando” i carichi su un sistema portante continuo, come insegna Shigeru Ban con i suoi tubi di cartone (vedi pagina 259). Inoltre, è efficiente dal punto di vista strutturale, distribuire l'area della sezione il più possibile lontano dall'asse mediano della stessa. Facciamo un piccolo esempio: prendiamo un foglio di carta e appoggiamolo alle estremità su due supporti. Questo tenderà a piegarsi non riuscendo a sostenere nemmeno il proprio peso. Prendiamo lo stesso foglio e pieghiamolo a fisarmonica, stendendolo poi nuovamente sugli appoggi. Ora il foglio non si fletterà, e sarà in grado di sostenere pesi molto superiori al suo, eppure la quantità di materiale impiegato è sempre la stessa. Tutto questo perché si è aumentata l'altezza della sezione, allontanando area resistente dall'asse baricentrico. Come abbiamo visto il miglioramento del comportamento strutturale può giocare sulle proprietà geometriche delle sezioni e non solo sulla resistenza del materiale da cui sono composte, e per i nostri scopi questo tipo di approccio è sicuramente quello più conveniente.

4.2.1 Struttura di fondazione

« Scava fino a trovare il duro, e che il ciel ti assista. »¹¹

- Leon Battista Alberti -

Le fondazioni¹² sono quella parte di edificio a contatto con il terreno, e hanno il compito di ricevere i carichi dalle strutture di elevazione e di trasmetterli al suolo, fungendo da collegamento statico fra quest'ultimo e la costruzione. Le proprietà del terreno su cui l'edificio si appoggia contribuiscono a determinare la tipologia di fondazioni da realizzare. Per conoscerne le caratteristiche podologiche e di portanza

¹¹ Leon Battista Alberti, *De Re Aedificatoria*, III, II, 1450.

¹² «Insieme degli elementi tecnici del sistema edilizio aventi funzione di trasmettere i carichi del sistema edilizio stesso al terreno.». (Fonte: UNI 8290-1)

sono necessarie indagini geologiche specialistiche. In passato, in assenza di conoscenze scientifiche sulla portanza del terreno, (non dimentichiamoci che l'analisi strutturale ha cominciato a svilupparsi sistematicamente solo durante il XIX secolo¹³), anche la costruzione delle fondazioni, così come il progetto strutturale dell'edificio, era basata essenzialmente sull'esperienza, sull'intuito e affidata al caso¹⁴. La resistenza del terreno dipende da molti fattori. Nei primi 30-50 cm di profondità, si trova in grande quantità la frazione organica. Questo strato superficiale, detto scotico, necessario alle specie vegetali per vivere, deve essere rimosso in quanto le sue caratteristiche fisiche lo rendono scarsamente resistente e molto deformabile. Anche la presenza di acqua nel terreno gioca un ruolo fondamentale, influenzando la deformabilità e la capacità portante, soprattutto nei terreni coesivi (limosi e argillosi). La variazione della quantità d'acqua presente nei pori di questi terreni può causare lenti ma pericolosi fenomeni deformativi.

Tipo di terreno	Caratteristiche	Capacità portante [kg/cm ²]
Molto portante	Rocce compatte	10
	Rocce frantumate	8 - 2
Buono	Sabbie e ghiaia ben compatte senza materiali organici	3 - 2
	Argille ben consolidate	2,5 - 1,5
Mediocre	Sabbie, argille miste, ben compatte, con poco limo	1,5 - 0,5
Scadente	Argilla e sabbie non compatte, molto limo	0,5 - 0,2
Da evitare	Materiali organici, terreni di riporto, limi bagnati, gesso, pericolo frane	

Tabella 3: caratteristiche dei terreni¹⁵.

¹³ Croci G., *Conservazione e restauro strutturale dei beni architettonici*, Utet Libreria, Torino, 2001.

¹⁴ Il metodo usato nell'antichità era questo: venivano scavati dei pozzi "di ispezione" agli angoli del perimetro dell'edificio da costruire fino a raggiungere un terreno considerato solido. Poi si lasciava cadere dall'alto una pietra di circa 10 kg: se rimbalzava sul fondo con suono secco il terreno raggiunto era adatto, altrimenti bisognava procedere con lo scavo. Insomma, una prova penetrometrica molto empirica. (Fonte: Cairoli Giuliani F., *L'edilizia nell'antichità*, Carrocci, Roma, 2005)

¹⁵ AA.VV., *Sistemi costruttivi per l'architettura*, CLUP, 2001, Segrate (MI).

A seconda della loro tipologia, è possibile suddividere le strutture di fondazione in due grandi categorie: dirette e indirette. Quest'ultime sono necessarie quando il terreno superficiale presenta una modesta resistenza rispetto ai carichi ai quali è sottoposto, sono costose e di difficile esecuzione. Esse non saranno trattate in questo lavoro in quanto non possono essere realizzate da manovalanza inesperta, con attrezzi manuali, uscendo dall'ambito dell'autocostruzione. Comunque, in condizioni "normali" non sono necessarie. Le fondazioni dirette si dividono anch'esse in due gruppi: continue e discontinue (vedi paragrafi seguenti). La scelta della tipologia di fondazione da adottare dipende dal tipo di terreno su cui si andrà a costruire e dal tipo di struttura portante in elevazione prevista per l'edificio. Se una struttura a telaio puntuale potrà avere una struttura di fondazione continua o discontinua a seconda delle necessità, la scelta ricade obbligatoriamente sulla prima per quanto riguarda edifici a struttura portante continua-lineare. Dal punto di vista dell'impatto dell'edificio sul suolo sottostante e sull'ambiente in generale, la scelta migliore sono le fondazioni discontinue. Le ragioni sono essenzialmente due: la riduzione del volume di terra asportato con conseguente riduzione e velocizzazione delle operazioni e l'utilizzo minore quantità di cemento, materiale a elevato impatto ambientale, purtroppo insostituibile¹⁶ per la realizzazione di fondazioni. Un altro sistema per ridurre la quantità di cemento, impiegato nel sistema discontinuo a plinti¹⁷, è quello di ridurre il numero di appoggi, e quindi di pilastri, aumentando le luci delle travi. In questo modo si avranno verosimilmente plinti di dimensione maggiore, ma riducendo il numero degli stessi, ottimizzando così i tempi delle lavorazioni e l'utilizzo di materiale. Ovviamente questa richiesta si scontra con altri problemi strutturali connessi all'aumento degli sforzi nelle travi, e alla fattibilità tecnologica di interessi fra gli appoggi elevati.

16 Qualsiasi edificio, tranne quelli temporanei o che prevedono carichi irrisoni, può quindi essere considerato, almeno in parte, un edificio in cemento armato.

17 Tipicamente il plinto è costituito da un blocco in calcestruzzo armato a forma di parallelepipedo, a base solitamente quadrata o rettangolare, che viene realizzato al di sotto di ciascun pilastro della struttura, e centrato rispetto a questo, allo scopo di trasmettere il carico derivante dalla stessa al terreno di fondazione con valori ammissibili di tensioni sul sedime. (Fonte: <http://it.wikipedia.org>)

Gli edifici oggetto di questo manuale possono essere generalmente considerati "leggeri", in quanto utilizzano materiali con un peso proprio inferiore rispetto a quelli standard, e raggiungo altezze modeste, superando di rado i due piani fuori terra. Questo permette di avere fondazioni con sezioni più piccole e conseguentemente un minor consumo di materiale.

4.2.1.1 Fondazioni dirette discontinue

Per quanto riguarda la realizzazione di fondazioni discontinue a plinti in cls armato è utile fare riferimento al metodo proposto da Walter Segal nel suo sistema costruttivo autocostruibile (vedi pagina 236). Sono proprio le fondazioni la peculiarità di questo "metodo" rispetto ai sistemi strutturali in legno da cui trae ispirazione.

Si procede nel modo seguente. Nell'area dove verrà eretto l'edificio viene asportato lo strato di terreno superficiale e vengono realizzate le buche di fondazione e gli scavi atti al passaggio degli impianti. Successivamente tutta la superficie viene ricoperta con un materiale resistente all'umidità protetto con uno strato di ghiaio, contenuto da un bordo perimetrale pavimentato. I plinti di fondazione sono costituiti da uno scavo a sezione rettangolare in corrispondenza dei pilastri, e possono essere eseguiti facilmente a mano. Inoltre anche il cemento può essere preparato a mano in una carriola, senza l'ausilio di una betoniera. Esso sarà gettato direttamente nello scavo senza l'ausilio di casseri. La dimensione di ogni singola fondazione dipende dal carico a cui è sottoposta, e dal terreno su cui si appoggia. In genere è sufficiente che essa abbia una sezione di 60 cm x 60 cm, avendo una profondità variabile fra 75 cm e 90 cm. Il terreno non viene livellato in quanto il primo solaio dell'edificio sarà sospeso a circa un metro dal terreno: questo minimizza i lavori di escavazione e permette un risparmio del 20% sulla quantità di cemento impiegata. L'edificio non è vincolato alle fondazioni a livello ipogeo, ma vi si appoggia semplicemente sopra: il peso stesso della costruzione ne garantisce la stabilità. In questo modo viene proposto un approccio debole alla morfologia dell'ambiente, in cui è l'edificio a

adattarsi a esso e non il contrario, utile anche nel caso di terreni scoscesi. Fra i montanti e la fondazione in c.a. è presente una piccola piastra (pad) anch'essa in cemento e uno strato plastico di separazione (neoprene) a protezione degli elementi in legno dall'umidità di risalita. Tutto questo garantisce maggior facilità e velocità di esecuzione da parte degli autocostruttori, evitando futuri problemi di isolamento dall'umidità della struttura lignea. È possibile eseguire l'impermeabilizzazione dei plinti, interponendo fra essi e lo scavo uno strato di materiale plastico. Questo compito può essere svolto da un comune sacco di plastica da pattumiera, giuntato con altri a formare una superficie continua.

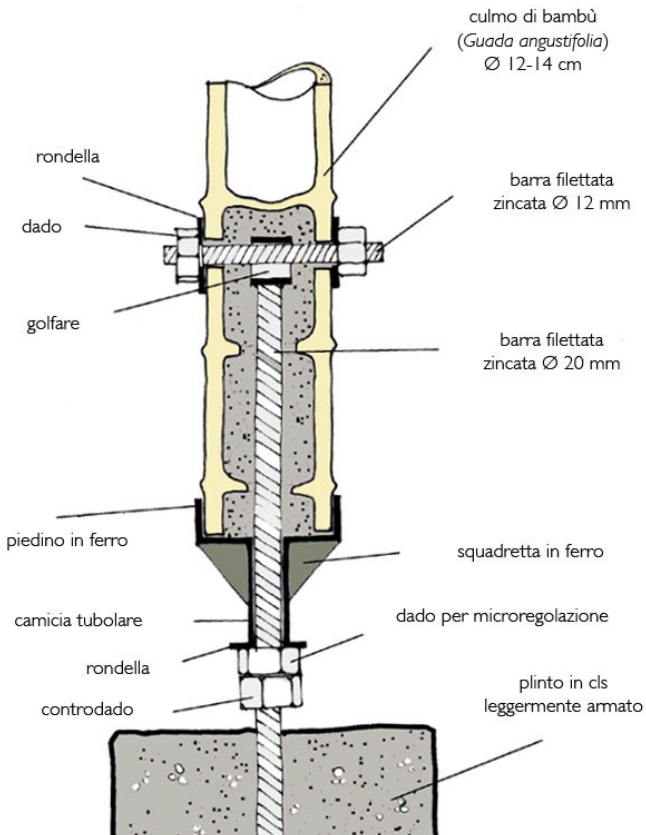


Illustrazione 23: nodo montante in bambù-plinto in c.a., cantiere Emissionizero, Vergiate (VA).

Un altro sistema che permette di impiegare oggetti di scarto è quello di utilizzare i copertoni usati, o fusti in metallo, come casseri a perdere per i plinti. Nel caso dei copertoni, lo strato di gomma da cui sono composti garantisce una completa resistenza all'umidità, tranne che per il lato inferiore che andrà impermeabilizzato, per esempio con un semplice sacco nero della spazzatura. Essi possono essere utilizzati per strutture leggere o temporanee, semplicemente appoggiati allo strato superficiale di terreno.

4.2.1.2 Fondazioni dirette continue



Illustrazione 24: Shigeru Ban, Paper Log House, (Nagata, Hyogo, 1995). Dettaglio delle fondazioni.

Le fondazioni dirette continue sono necessarie per strutture portanti continue o discontinue molto fitte, o quando il terreno è mediocre. Il dado di fondazione ha larghezza variabile tra 70 cm e 120 cm, mentre di solito un'altezza di 30 cm. Anche in questo caso

l'impermeabilizzazione della fondazione può essere ottenuta mediante l'utilizzo di un sacco di plastica da pattumiera. Altre esperienze¹⁸ hanno dimostrato la possibilità di utilizzare in sostituzione dei pannelli di armatura molto costosi, un telo in polietilene (tipo membrana Delta[®] MS) che normalmente viene utilizzato come strato separatore nei muri interrati. Fatto lo scavo, lo si avvolge con questa guaina e si getta il cemento. Questo permette di avere una dimensione del dado di fondazione costante, proteggendolo completamente dall'umidità, e risparmiando la necessità di posare uno strato di magrone sotto il cordolo.

¹⁸ Giuseppe Cusatelli in *La sostenibilità dell'autocostruzione nell'ERP: processi, politiche, riflessioni*, a cura di Alessandro Rogora, Libreria Clup, Segrate (MI), 2006.

Le strutture tipo balloon frame (pagina 247) e platform frame (pagina 248), dato il ridotto interasse fra i montanti e l'appoggio inferiore su un corrente ligneo continuo, utilizzano questo tipo di fondazione. Questo corrente appoggia direttamente sul cordolo di fondazione in c.a. e fra di essi è posto un strato a protezione del legno. L'edificio può prevedere un piano interrato o solo un'intercapedine sotto il primo solaio per assicurare una adeguata ventilazione.

Sono state sperimentate anche tecniche innovative di fondazioni continue. Alvar Aalto in un articolo apparso sulla rivista di architettura finlandese «Arkkitehti» nel 1953 descrivere la sua casa sperimentale che stava costruendo sull'isola di Muuratsalo descrive il suo esperimento per «un edificio senza fondamenta: con un sistema diagonale di travi appoggiate su grosse pietre portanti, tipiche di un terreno morenico finlandese, sulle quali poggia l'intero edificio di legno, ben equilibrato, benché i suoi montanti non seguano una schema determinato.». Shigeru Ban per la realizzazione di modulo abitativo d'emergenza (vedi pagina 262) usò come fondazione continua le cassette di birra riempite di sabbia, appoggiate al terreno senza la realizzazione di scavi.

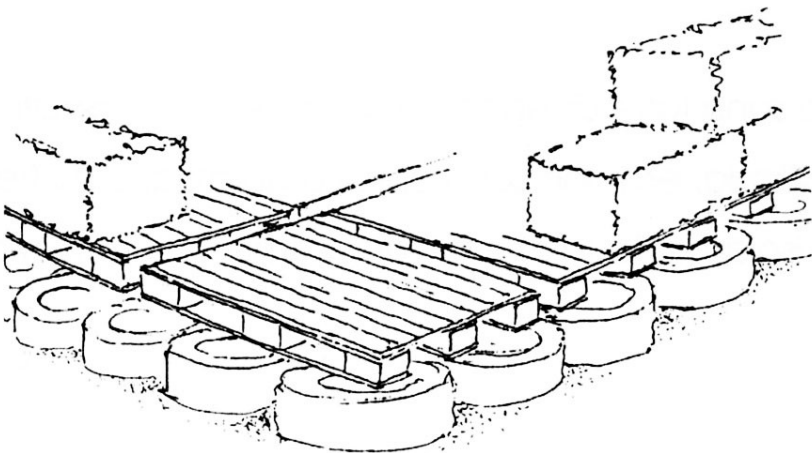


Illustrazione 25: appoggio continuo al di sopra di copertoni recuperati.

L'immagine precedente mostra la costruzione di un pavimento controterra con struttura portante in balle di paglia. Queste giacciono su bancali in legno a loro volta poggiati su pneumatici di automobile usati, adatti per fermare l'umidità di risalita e favorire la ventilazione sottostante.

4.2.2 Struttura di elevazione

La struttura di elevazione¹⁹ ha la funzione di supporto dei carichi gravanti sull'edificio e della loro trasmissione in fondazione, assolvendo quindi alla funzione statica principale. A livello generale, è possibile riconoscere due grandi tipologie:

- strutture portanti puntiformi;
- strutture portanti continue.

Le prime, che possono essere definite anche come strutture portanti a telaio, sono formate da elementi verticali, i pilastri. Questi sono elementi lineari che si sviluppano in altezza, a cui corrispondono in orizzontale altri elementi lineari, le travi, che su di essi scaricano i carichi gravanti sui solai. Le strutture portanti continue a parete portante invece sono elementi verticali assimilabili a un piano, aventi in pianta uno sviluppo lineare. A esse si appoggiano direttamente le travi dei solai, o strutture orizzontali a piastra. A differenza dei sistemi puntiformi che hanno esclusivamente funzione statica, le pareti portanti svolgono anche la funzione di "chiusura", ma difficilmente sono in grado da sole di soddisfare tutti i requisiti richiesti a un normale tamponamento, e devono essere completate con altri strati (isolamento termico, barriera al vapore, ecc.).

Prima di procedere è necessaria una precisazione. Le strutture portanti puntiformi a telaio necessitano di materiali molto resistenti, in quanto tutti gli sforzi sono concentrati in singoli elementi di sezione ridotta. Questa prestazione strutturale non è normalmente raggiungibile con l'impiego di normali prodotti di rifiuto, che grazie

19 «Insieme degli elementi tecnici del sistema edilizio aventi funzione di sostenere i carichi verticali e/o orizzontali, trasmettendoli alle strutture di fondazione». (Fonte: UNI 8290-1)

all'unione di vari elementi possono però trovare la necessaria resistenza in un sistema portante continuo. Di seguito quindi si tratteranno sistemi portanti puntiformi, prendendo in considerazione esclusivamente il legno. Quest'ultimo non è propriamente un materiale di scarto, ma lo può essere se gli elementi vengono recuperati o assemblati da elementi più piccoli, altrimenti inutilizzabili per scopi strutturali. C'è da ricordare inoltre, che se le funzioni di un elemento di tamponamento (vedi pagina 275) sono importanti, quelle di sicurezza strutturale sono le uniche imprescindibili. Utilizzare un materiale come il legno, su cui sono stati svolti gli studi scientifici strutturali confluiti in una normativa riconosciuta a livello europeo, significa progettare in sicurezza, e è questo un valore al di sopra dell'utilizzo di materiali di recupero.

4.2.2.1 Strutture portanti in elevazione a telaio

Le strutture portanti in elevazione a telaio, dette a ossatura portante, sono sistemi strutturali composti da travi (elementi orizzontali) e pilastri (verticali). I carichi vengono raccolti dai solai e attraverso le travi che li sostengono, trasmessi ai pilastri, e da lì alle fondazioni. Dove i giunti non siano stati appositamente irrigiditi, l'intero sistema può essere visto come un telaio isostatico, detto pendolare, ossia in cui i nodi fra i vari elementi possono essere schematizzati come cerniere.

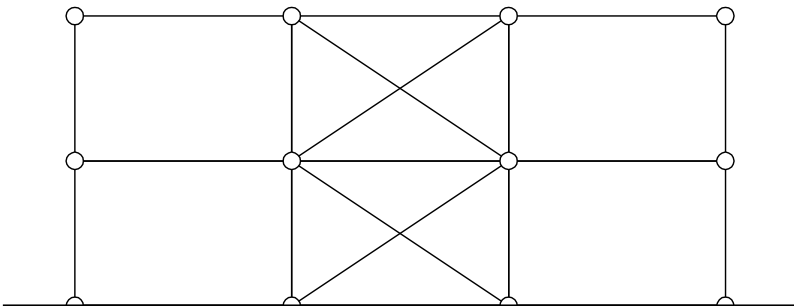


Illustrazione 26: struttura pendolare con controventi diagonali.

Questi sistemi non sono in grado di sostenere carichi orizzontali senza la collaborazione di elementi di controvento, quali diagonali incrociate, pareti di taglio, o attraverso l'irrigidimento dei giunti del telaio (come per esempio realizzando un nodo a squadra). Come detto in precedenza, la struttura a telaio soddisfa esclusivamente la funzione strutturale, potendo così specializzare la scelta di sezioni o materiali efficienti, rispetto a una parete portante continua, che nel corso della storia ha sempre avuto anche funzione di chiusura e di protezione. Inoltre la struttura a telaio, risulta molto meno ingombrante nella volumetria dell'edificio, rendendo lo spazio interno più flessibile.

Quando si progetta una struttura puntale ci si trova davanti alla scelta se realizzare una struttura concentrata o distribuita, cioè se realizzare una struttura formata da pochi elementi di grande dimensione soggetti a sforzi elevati, oppure elementi relativamente piccoli, ma in numero maggiore. Ovviamente non esiste una risposta univoca e molte sono le variabili che la determinano, a volte specifiche per ogni progetto. In linea di massima è possibile stabilire che l'utilizzo di un numero minore di elementi di grande dimensione è preferibile all'uso di un numero maggiore di dimensioni ridotte, soprattutto per quanto riguarda il progetto di strutture intelaiate trave-pilastro che stiamo trattando.

Anche se non è questa la sede per lo studio degli elementi inflessi, si vogliono dare delle indicazioni tecnologico-strutturali per la realizzazione di travi. La sezione rettangolare non è strutturalmente efficiente in quanto le fibre soggette allo sforzo massimo si trovano in corrispondenza del lembo superiore (compressso) e di quello inferiore (teso). In tutti i restanti punti della sezione il materiale è sotto sollecitato, spreca le sue residue potenzialità. Non solo quindi è necessario rispettare il principio secondo cui a una sezione di area maggiore corrisponde uno sforzo minore, ma è importante distribuire l'area dell'elemento il più lontano possibile dall'asse baricentrico. In poche parole, più alta è la sezione di un elemento maggiore sarà la sua resistenza a flessione. Questo obiettivo deve essere tenuto presente durante l'assemblaggio meccanico di travi composte da elementi diversi.

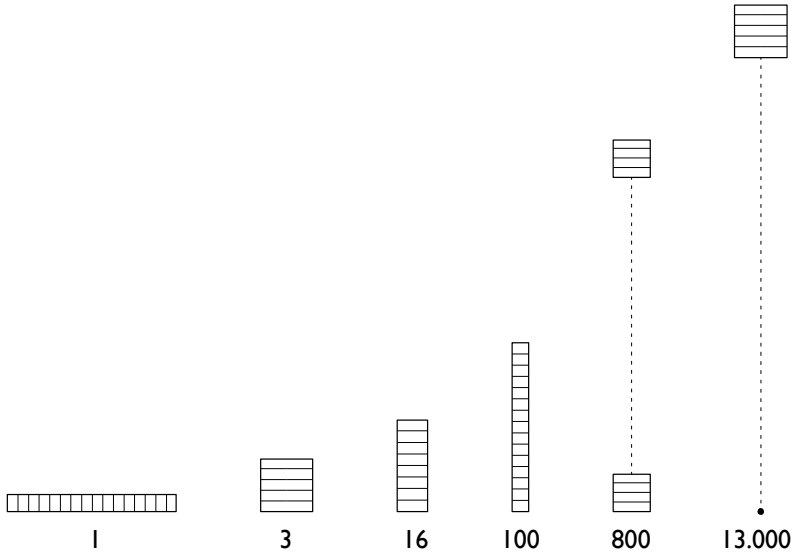


Tabella 4: confronto dei diversi momenti di inerzia a parità di area della sezione.

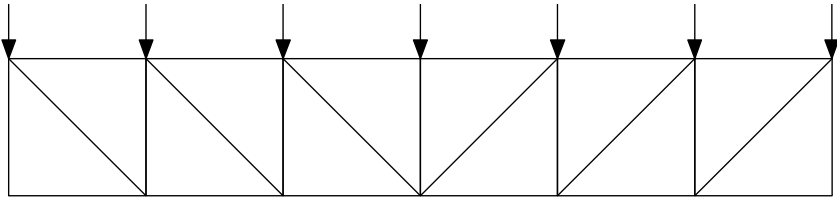
(Fonte: Natterer J., Herzog T., Volz M., *Atlante del legno*, UTET, Torino, 1998)

Piccoli elementi lineari possono essere facilmente utilizzabili, se non per le strutture in elevazione, per la creazione di travi reticolari autocostruite. L'utilizzo di queste strutture, utilizzate sistematicamente a partire dalla realizzazione di ponti agli inizi del XIX secolo, ma conosciute da sempre sotto forma delle capriate lignee, si basano essenzialmente sulla principio di indeformabilità dei triangoli. Le travi reticolari sono infatti realizzabili a partire dall'assemblaggio «di elementi individuali lineari, disposti secondo un triangolo o una combinazione dei triangoli, per formare un sistema rigido che non può essere deformato senza la deformazione di uno, o più, degli elementi che lo compongono»²⁰.

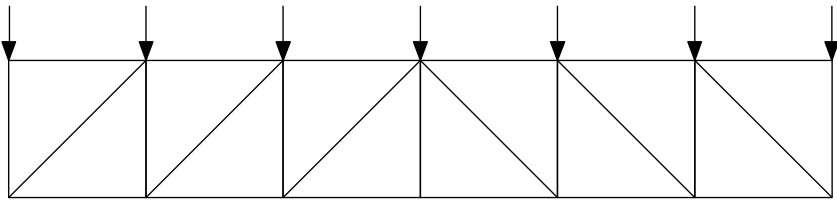
Le variabili che incidono sulla dimensione degli elementi di queste strutture sono la luce, l'altezza utile della travatura, e la lunghezza dei singoli elementi (soprattutto per quelli compressi). Dal punto di vista puramente strutturale, è efficiente un progetto in cui si riduca al minimo la lunghezza degli elementi compressi e si massimizzi quella

²⁰ Schodek D. L., *Strutture*, traduzione a cura di D. Coronelli e L. Martinelli, Pàtron Editore, Bologna, 2004.

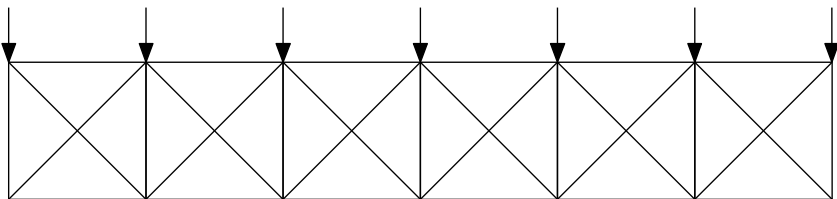
degli elementi tesi. Elementi che sopportano solo forze di trazione, tesi, avranno tendenzialmente sezioni molto più piccole, con risparmio di materiale, rispetto a quelli sottoposti a sforzi di uguale intensità ma si segno opposto, ossia sforzi di compressione. Inoltre un elemento che durante la sua vita sarà soggetto esclusivamente a sforzi di trazione può essere realizzato mediante una fune. Anche se corretto, questo modo di procedere è molto rischioso in quanto è possibile un'inversione degli sforzi, cioè il passaggio da uno stato di pura trazione a quello di compressione, a cui la fune non "sa" resistere.



Travatura a corde parallele, tipo Pratt
(Gli elementi diagonali sono tesi e quindi possono essere funi)



Travatura a corde parallele, tipo Howe
(Gli elementi diagonali sono compressi)



Travatura a corde parallele e diagonali incrociate
(Gli elementi diagonali possono essere funi, senza pericolo di collasso in caso di inversione degli sforzi)

Illustrazione 27: tipologie comuni di travature reticolari.

Strutture a telaio in legno

«Albero, l'esplosione lentissima di un seme.»²¹

La prima testimonianza nella storia dell'uomo dell'impiego tecnico del legno risale a circa 290.000 anni fa, e è rappresentata da una punta di giavello. Il legno è sempre stato usato come materiale da costruzione (e non solo), prima che fosse soppiantato dai materiali *moderni*, per la sua capacità di resistere bene sia a trazione che a compressione, per le buone proprietà termoisolanti, per la notevole lavorabilità e la facile reperibilità. Per tutte queste caratteristiche, il legno è, ancora oggi, adatto per realizzare un sistema portante a telaio, soprattutto in cantieri in autocostruzione, in quanto è un materiale impiegabile a “secco”, e, entro certe dimensioni, presenta elementi leggeri, facili da movimentare manualmente o con l'ausilio di mezzi meccanici di piccola taglia. È possibile quindi che lo scheletro strutturale della maggior parte dei progetti in autocostruzione, per ragioni di resistenza o comunque scarsa conoscenza dei materiali di recupero, venga realizzato con elementi in legno. Come già detto, questo è in linea con il principio di sicurezza strutturale, sovraordinato rispetto alle istanze di riutilizzo di rifiuti in ambito architettonico. Ovviamente, a differenza dei materiali di recupero, non è a costo zero.

Dal punto di vista ambientale, l'utilizzo del legno come materiale da costruzione si basa sulle seguenti ragioni²²:

- è un materiale rinnovabile;
- le foreste europee sono una fonte sostenibile di legname;
- l'albero fissa CO₂ nella propria struttura fisica, sottraendola all'atmosfera;
- richiede modesti requisiti energetici per la sua produzione;
- è riutilizzabile per la produzione di energia²³.

²¹ Munari B., *Fenomeni bifronti*, 1993.

²² Uzielli L., a cura di, *Il manuale del legno strutturale*, Mancosu Editore, Roma, 2004.

²³ La CO₂ stoccata troverebbe in ogni caso la sua strada nell'atmosfera anche se il legno non venisse

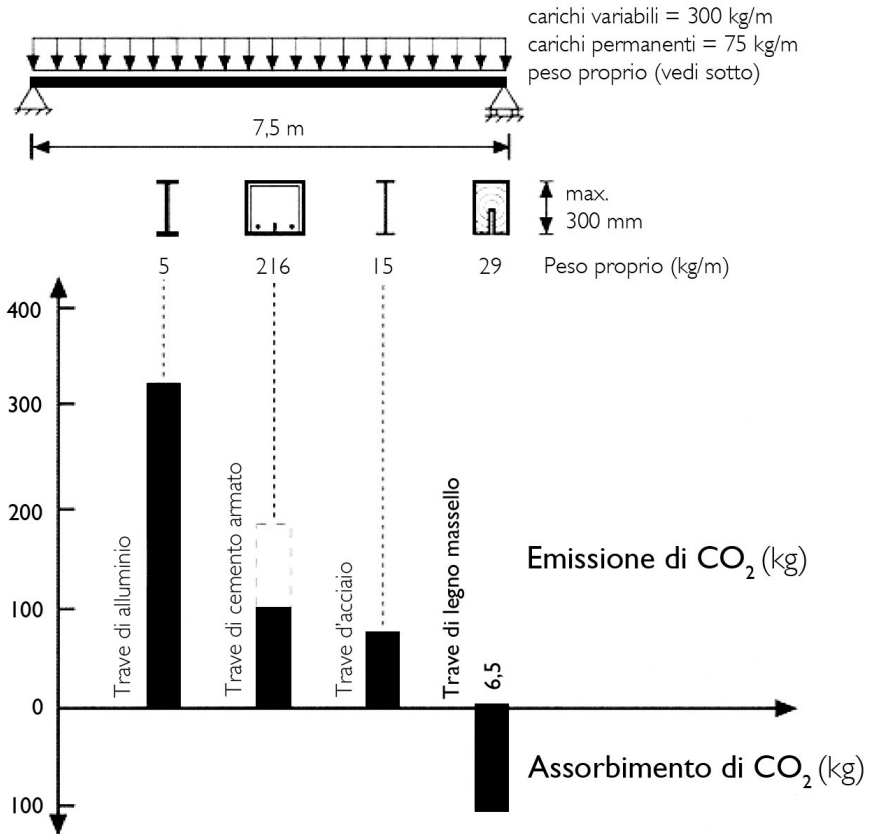


Illustrazione 28: bilancio di CO₂ nella produzione di una trave.

(Fonte: J.Natterer; *Energy Criteria for Timber Structures*)

Come dimostra la figura precedente, la realizzazione di elementi strutturali in legno risulta avere un bilancio netto di produzione di CO₂ negativo, in quanto è maggiore quella assorbita durante la crescita della pianta rispetto a quella impiegata per la sua lavorazione, a differenza dei materiali standard, non rinnovabili.

Il legno ha un elevato rapporto resistenza/peso proprio, che lo rende un ottimo materiale strutturale. Basti pensare che dividendo i carichi di rottura per le relative

usato per la produzione di energia, ma fosse lasciato degradare.

masse volumiche, si constata che il legno sollecitato a trazione assiale resiste meglio dei metalli e delle fibre tessili²⁴. Tuttavia è necessario sottolineare che, a differenza degli altri materiali da costruzione generalmente utilizzati, quale per esempio l'acciaio, non è un materiale coerente, ossia può presentare discontinuità, non è omogeneo, cioè mostra differenze tra un punto e l'altro della sua struttura, e non è isotropo, in quanto cambia comportamento a seconda della direzione della sollecitazione. Inoltre ogni elemento strutturale derivato dal legno non sarà immune da nodi, difetti, anomalie e alterazioni. Tutte queste caratteristiche sono dovute alla provenienza del legno da organismi viventi - gli alberi - e non da processi di produzione artificiali.

Acciaio	Legno
Analogie	
sezioni cave aste, angolari travi a "I" lastre saldatura bullonatura	pali segati travi a "I" pannelli incollaggio bullonatura
Differenze	
isotropo fabbricato uniforme influenzato dalla temperatura	anisotropo coltivato, classificato variabile, eterogeneo influenzato dall'umidità

Tabella 5: analogie e differenze fra acciaio e legno come materiali strutturali.

(Fonte: A cura di Uzielli L., *Il manuale del legno strutturale*, Mancosu Editore, Roma, 2004)

Per poterlo utilizzare nel migliore dei modi, è necessario conoscere a fondo le sue peculiarità, senza fermarsi all'acquisizione dei soli dati di resistenza e elasticità, i quali

²⁴ Dal punto di vista della scienza dei materiali il legno somiglia molto ai moderni materiali compositi fibrorinforzati: le fibre di cellulosa sono immerse in una matrice di sostanze polimeriche (emicellulosa e lignina).

comunque dipendono da diversi fattori, anche inerenti alla sfera progettuale. Inoltre è importante conoscere non solo i "limiti" del legno, ma anche come questi si raggiungono. Le indicazioni presenti nelle pagine seguenti non sono sufficienti da sole per effettuare un progetto strutturale corretto e completo, ma si riferiscono a punti particolarmente salienti e di una qualche utilità per la comprensione della logica costruttiva in legno, soprattutto nell'ottica dell'autocostruzione.

Legno come materiale da costruzione

Caratteristiche istologiche

Gli alberi sono formati da cellule organizzate in diversi tessuti, di cui il principale è il *tessuto meccanico fondamentale* o *di sostegno*, formato da cellule fusiformi allungate parallele all'asse longitudinale del fusto. Esse occupano dal 60% al 80% del volume totale e hanno la funzione di resistere a sollecitazioni derivanti dal peso proprio (compressione assiale), e dal vento (flessione e eventualmente torsione). Il comportamento macroscopico del legno è determinato dalle caratteristiche microscopiche delle strutture cellulari che lo compongono. Le cellule del tessuto meccanico fondamentale possono arrivare a una lunghezza di 7 mm con un diametro esterno variabile fra 1/20 e 1/50 della lunghezza. L'elevata snellezza è il principale motivo per il quale la resistenza a trazione assiale è dalle 2 alle 3 volte maggiore rispetto a quella a compressione.

I nodi identificano le inserzioni dei rami nei fusti dell'albero. Essendo i rami indispensabili alla vita stessa della pianta, considerare i nodi come un difetto è senz'altro un non senso, anche se dal punto di vista strutturale essi presentano qualche problema. Ci limiteremo a enunciare che il massimo decremento di resistenza si verifica quando i rami che determinano i nodi sono inseriti nel fusto a palchi regolari (verticilli), come nel caso dell'Abete bianco.

Nelle zone climatiche temperate l'accrescimento non è costante durante l'anno, ma riprende in primavera, rallentando in autunno, arrestandosi in inverno. Questo si

traduce in un diversa dimensione del tessuto meccanico fondamentale: le cellule primaverili hanno pareti sottili con cavità interne (lume) molto ampie, mentre quelle autunnali hanno pareti più spesse con lume ridotto. Questo porta a avere fasce più chiare (ripresa) e più scure (autunno) sotto forma di anelli concentrici, detti di accrescimento. La differenza in termini di massa volumica fra il legno tardivo e quello primaverile può arrivare a essere pari anche a 3:1. Tutto ciò è ben visibile nelle sezioni trasversali, i cui gli anelli di accrescimento sono facilmente individuabili nei legni di tutte le Conifere e in gran parte delle Latifoglie. Col passare del tempo, la parte centrale del fusto perde la funzione di trasporto dei succhi e le sostanze in essa ancora contenute si depositano all'interno delle cavità cellulari. Questo fa sì che si formino due zone distinte: una periferica esterna in piena attività, detta *alburno*, e una interna che ha perso ogni funzione fisiologica, detta *durame*. Quest'ultimo è più duro e pesante e presenta una maggiore resistenza agli attacchi biologici, per cui è sempre consigliabile adoperare elementi in legno privati dell'alburno. Il legno, essendo un materiale organico, può subire attacchi da parte di insetti, funghi e batteri. Non tutte le specie si comportano allo stesso modo ma l'elevata umidità è un fattore favorevole all'insorgenza di aggressioni, soprattutto da parte di funghi. È usuale che il danno si noti soltanto durante le lavorazioni, o addirittura dopo la posa in opera (se non a collasso avvenuto!). È perciò importante proteggere il legno con adeguati trattamenti. La protezione alle intemperie si raggiunge anche provvedendo a adeguate sporgenze del tetto che possano riparare la facciata, e a accortezze tecnologiche nel trattamento dei giunti degli elementi. È possibile sollevare la costruzione da terra per evitare gli spruzzi d'acqua, provvedendo a proteggere gli elementi strutturali verticali almeno fino a 15 cm da terra.

Caratteristiche strutturali

Le nuova normativa²⁵ tecnica italiana sulle costruzioni ha compreso fra i materiali da costruzione, riprendendo il campo di applicazione dell'Eurocodice 5, «elementi in

²⁵ D.M. 14 Gennaio 2008.

legno strutturale (legno massiccio, segato, squadrato oppure tondo)» e «prodotti strutturali a base di legno (legno lamellare incollato, pannelli a base di legno) assemblati con adesivi oppure con mezzi di unione meccanici». I legnami da costruzione più diffusi nel nostro paese sono prevalentemente costituiti da Conifere. Il legno è un materiale *vivo*, che respira (soprattutto umidità), cambia forma (si parla infatti di *movimenti*), e comportamento strutturale, a seconda delle condizioni igrometriche in cui si trova. Dopo l'abbattimento è sempre presente dell'acqua libera all'interno delle cavità cellulari. Durante l'essiccamento il legno cede acqua presente nel lume e nelle pareti cellulari all'ambiente circostante arrivando a uno stato di equilibrio (stagionatura). Il ritiro in direzione tangenziale è maggiore di quello radiale²⁶, tanto che può raggiungere un rapporto pari a 2:1 (dallo stato fresco allo stato anidro), mentre il ritiro in direzione assiale è inferiore al 1% e può essere trascurato. Tutto ciò porta all'insorgenza delle cosiddette fessure da ritiro a "V", partenti dal midollo e orientate radialmente. Per evitarne la formazione, che comunque rimane un fenomeno naturale e non è dovuto a errori di essiccazione, è possibile effettuare delle *fresature di stabilizzazione* sul bordo del tronco. Se le sezioni in cui è stato segato il legno non contengono il midollo, allora non vi sarà alcuna possibilità dell'apertura di fessure da ritiro ma si avranno riduzioni dimensionali che potranno portare a diverse deformazioni a seconda di come è stato tagliato l'elemento in questione.

Il processo di essiccazione non è a senso unico, in quanto il legno può riassorbire l'umidità ceduta. La quantità d'acqua all'interno del legno è quindi in un costante equilibrio dinamico con l'ambiente circostante. Gli elementi strutturali in legno devono potere essere ventilati naturalmente, in modo da poter far evaporare l'umidità eventualmente adsorbita. L'umidità *normale* del legno è considerata quella raggiunta in condizioni di temperatura intorno ai 20°C e umidità relativa 60-65%,

26 Come detto, il legno non è isotropo. Tuttavia può essere considerato come un materiale ortotropico, dove la direzione longitudinale (parallela all'asse del fusto), radiale e tangenziale (rispetto alla sezione trasversale del tronco), sono le 3 direzioni fondamentali.

assumendo un'umidità relativa del legno²⁷ pari a 12%. La presenza di acqua non modifica solo dimensionalmente il legno ma influenza le caratteristiche strutturali di resistenza e deformabilità. È banalmente noto che un legno con alta umidità ha resistenze inferiori a quelle del legno stagionato, anche se la correlazione fra umidità del legno e caratteristiche strutturali del legno non segue di solito una legge lineare. A titolo di esempio la resistenza a compressione del legno a umidità normale è il doppio rispetto a quella del legno a completa imbibizione, indipendentemente dalla direzione di applicazione del carico. È di fondamentale importanza inoltre evitare la manifestazione di gradienti di umidità in uno stesso elemento ligneo. Questo porterebbe alla nascita di movimenti differenti fra le varie parti che possono portare a fratture localizzate o a veri e propri movimenti della sezione: basti pensare che una differenza di 8 punti percentuali fra il lembo superiore e quello inferiore di una trave inflessa è possibile ottenere una controfreccia di $L/300$, pari a quella limite in condizione di esercizio. Per elementi quali tavole e scandole poste a differenti gradienti igrotermici, tipici di una condizione in ambiente esterno, si dovranno prevedere sistemi di fissaggio atti a consentire un certo gioco dimensionale, evitando così l'insorgere di sgradevoli fessure. Un fattore molto importante è la variazione dimensionale dipendente dal cambiamento di umidità. Partendo dal legno fresco nel processo di essiccazione di elementi già in opera, con il ritiro l'area della sezione diminuisce (è possibile osservare una riduzione pari anche al 7%), ma l'aumento delle prestazioni strutturali dovute al decremento di umidità sono così elevate da compensare largamente la riduzione dimensionale. La normativa tecnica, essendo il legno un materiale a comportamento viscoelastico fortemente igro-dipendente, definisce i valori di resistenza e deformabilità di progetto a partire da dei valori statistici (detti caratteristici), con riferimento combinato alle classi di servizio²⁸ e alle

27 L'umidità relativa del legno viene indicata in forma percentuale in base al rapporto fra il peso dell'acqua contenuta, ottenuta fra la differenza di peso del campione in esame e quello a completa essiccazione, e il peso del legno allo stato anidro (a completa essiccazione). Anche se dipendente dall'umidità relativa dell'aria in cui l'elemento ligneo si trova a contatto, è un grandezza differente.

28 Classe di servizio I: è caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno;

classi di durata del carico. Per quanto riguarda il legno massiccio e il legno lamellare incollato, per esempio, elementi in classe di servizio 3 sottoposti a carichi permanenti, avranno un valore di resistenza di progetto pari alla metà rispetto a quello caratteristico.

La massa volumica²⁹ o *densità* del legno, che è sempre e comunque minore di 1,5 g/cm³, presenta un'ampia variabilità, caratteristica che, insieme al contenuto di umidità appena trattato, determina le caratteristiche di resistenza meccanica. Essendo il legno un materiale naturale, ogni proprietà fisica deve essere classificata. Per fare questo è necessario tenere debitamente conto della variabilità fra le caratteristiche di legname proveniente da un albero rispetto all'altro, e della variabilità delle sezioni anche appartenenti a uno stesso tronco. Questo significa che i valori di resistenza e deformabilità fanno sempre riferimento a distribuzioni statistiche, con buona probabilità di non essere mai superati.

Legnami	Peso per unità di volume (kN/m ³)
Conifere e pioppo	4,0 ÷ 6,0
Latifoglie (escluso pioppo)	6,0 ÷ 8,0

Tabella 6: peso per unità di volume (fonte: D.M. 14 Gennaio 2008).

Il legno è quindi in grado di resistere a sforzi di trazione, compressione e flessione. Come accennato, a causa delle caratteristiche delle cellule fusiformi da cui è formato, resiste molto meglio a trazione assiale che non a compressione. Mentre a trazione si arriva a rottura per sfibramento, nel comportamento a compressione si ha una sorta di instabilità pressoflessionale delle pareti cellulari. Tuttavia, il fenomeno di rottura a compressione del legno, il primo a verificarsi come abbiamo detto sopra, è meno visibile dal punto di vista macroscopico rispetto a quello a trazione, e tende a volte a

Classe di servizio 2: è caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno;

Classe di servizio 3: è caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2.

29 È necessario riferirsi sempre a un *volume apparente* in quanto la struttura cellulare del legno presenta cavità cellulari.

passare inosservato, a causa della plasticizzazioni che si vengono a formare sul lembo compresso e che portano in definitiva alla rottura visiva della sezione per trazione sul lato teso. Inoltre la presenza di difetti, quali nodi o tasche di ressi, ha un effetto maggiormente penalizzante in corrispondenza del lembo teso, che lo porta a rottura per schianto.

Nella verifica di stati tensionali di trazione o compressione è di fondamentale importanza considerare l'angolo tra la direzione della fibratura e la direzione dell'azione agente. Un angolo di soli 15° può portare a una riduzione maggiore del 50% della resistenza a trazione rispetto a quella considerata parallelamente all'asse longitudinale. Infatti, per sforzi di trazione perpendicolare alla fibratura il legno tende a cedere per spacco lungo la fibratura. La resistenza a trazione in questa direzione è molto bassa, arrivando a essere anche $1/70$ rispetto a quella assiale, la quale si attesta fra valori di 10-40 MPa³⁰. Il limite di schiacciamento trasversale si attesta a un valore compreso fra $1/8$ e $1/11$ del carico di rottura a compressione assiale, che è compreso fra 25-40 MPa. In realtà il valore minimo che determina la frattura totale si verifica con un angolo di 45° fra la forza applicata e gli anelli di accrescimento. Si consiglia quindi, se è necessario avere elementi sollecitati a compressione trasversale, che i suddetti siano sistemati con la direzione tangenziale degli anelli perpendicolare al carico, in modo da risultare sollecitati in senso radiale. Un altro sforzo a cui male resiste il legno è lo scorrimento, ossia sforzi di taglio che agiscono parallelamente alla direzione della fibratura (sollecitazione che si trovano per esempio in corrispondenza del giunto puntone-catena nella capriate lignee). La resistenza a scorrimento è all'incirca pari a $1/6$ di quella a compressione assiale statica e è pertanto necessario evitare questo tipo di sollecitazioni, attraverso un sistema strutturale adeguato.

La resistenza a flessione è compresa fra i 15 e i 70 MPa, mentre il modulo elastico fra i 10.000 e i 13.000 MPa. È consigliabile evitare elevati momenti flettenti in modo da ridurre il consumo di materiale. I pannelli piani, collegati a elementi lineari, possono svolgere funzione di rivestimento e di stabilizzazione della struttura portante sono

30 Giordano G., *Tecnica delle costruzioni in legno*, Hoepli, Milano, 2008.

utili per raggiungere l'obiettivo di risparmio sopra menzionato. Le inversioni di carico, cioè passare da uno stato di compressione a uno di trazione, evento che si verifica per esempio quando si aggiunge un vincolo intermedio a una trave semplicemente appoggiata, sono molto pericolose, sia per quanto riguarda gli elementi in legno, sia per quanto riguarda le unioni meccaniche.

Alla luce di quanto detto, è possibile riassumere, a livello generale, per una corretta progettazione di strutture in legno è necessario rispettare i seguenti punti:

- preferire sollecitazioni in direzione della fibratura (trazione-compressione);
- evitare sollecitazioni di scorrimento;
- evitare sollecitazioni di trazione in direzione normale alla fibratura;
- usare mezzi di collegamento duttili, o a comportamento duttile.

Resistenza al fuoco

Il legno, è noto a tutti, è un materiale combustibile, cioè è facilmente incendiabile. Il legno prende, mantiene e diffonde l'incendio, e per questi motivi è sempre stato considerato un materiale non adattato a resistere al fuoco. Tuttavia, non è così. Il requisito richiesto dalle norme tecniche è la capacità di una certa struttura di sopportare gli effetti del fuoco per un certo periodo di tempo, non la sua ininfiammabilità. Durante questo lasso di tempo, in cui l'incendio è in atto ma la struttura non crolla, è possibile immaginare che l'edificio sia evacuato. La caratteristica "antincendio", non è la non infiammabilità delle strutture ma la loro resistenza per un certo periodo prima del collasso finale. Il legno massiccio non si accende con facilità e infatti esistono pochissimi casi in cui è stato un componente strutturale in legno il primo materiale a prendere fuoco. In caso di incendio, anche l'acciaio, che non prende fuoco, sottoposto a elevate temperature perde le sue caratteristiche di resistenza arrivando al collasso. Essendo un ottimo conduttore termico, il calore riesce velocemente a interessare tutta la sezione, accelerando il raggiungimento dello stato limite. Il legno, invece, è in grado di mantenere le sue

caratteristiche meccaniche per molto tempo mentre una parte brucia, soddisfacendo così i requisiti richiesti dalla normativa antincendio. Inoltre, il legno ha un basso coefficiente di dilatazione termica che permette alle travature di esercitare una piccola spinta sui muri perimetrali a cui sono collegate in caso di incendio.

Mentre il legno brucia, è possibile individuare 3 zone distinte: la prima è quella carbonizzata, già bruciata; la seconda intermedia di pirolisi, in cui sta avvenendo la combustione, e una zona inalterata, che conserva le proprie caratteristiche di resistenza e deformazione, in grado di svolgere ancora le funzioni strutturali. Gli strati che precedono questa zona la proteggono dall'aumento di temperatura, rallentando il processo di propagazione all'intera sezione: ogni perdita di capacità portante è il risultato quindi di una lenta riduzione di sezione trasversale piuttosto che di un cambiamento delle proprietà fisiche del legno. Questo comportamento rende il legno, contrariamente a quanto si può pensare, un buon materiale contro il rischio di collasso da incendio. Le precauzioni che vengono prese a riguardo sono tendenzialmente due: l'impregnazione del legno con delle sostanze che rallentano la velocità di accensione e propagazione della fiamma, oppure un corretto sovradimensionando il legno in modo tale da avere sempre una quota di sezione resistente per il tempo necessario richiesto.

Questo calcolo è relativamente immediato in quanto, conoscendo la velocità di carbonizzazione³¹, che a parità di condizioni ambientali dipende esclusivamente dalla specie legnosa, è possibile valutare per quanto tempo la struttura sarà ancora in grado di assolvere alle sue funzioni strutturali, e è quindi facilmente calcolare le sue prestazioni al fuoco.

Resistenza al sisma

L'argomento riguardante i terremoti e la resistenza a essi da parte delle strutture è un argomento complesso che esula dagli obiettivi di questo testo. Tutto ciò non

31 A puro titolo di esempio, la velocità di carbonizzazione per il legno massiccio proveniente da conifere europee, può essere assunta pari a 0,8 mm/min.

impedisce di dare alcune informazioni sul comportamento delle strutture in legno sottoposte a azioni sismiche. Il legno è un materiale molto adatto per le costruzioni in zona sismica. In primo luogo la leggerezza: come già ricordato, il legno ha un rapporto resistenza/peso pari a quello dell'acciaio (maggiore per quanto riguarda la trazione assiale semplice) e 5 volte quello del calcestruzzo. Questo comporta che una trave in legno ha più o meno le stesse dimensioni di una trave in cemento armato ma un peso 5 volte più basso, simile a quello che avrebbe la stessa trave in acciaio. Durante la vibrazione, si svilupperanno forze d'inerzia tanto maggiori quanto maggiore è la massa presente. È quindi favorevole avere strutture leggere, quali quelle in legno.

La resistenza e la deformabilità del legno, come più volte ricordato, è dipendente dalla durata del carico, diminuendo all'aumentare di quest'ultimo. Questo significa che tutti i valori di resistenza caratteristici sono sottostimati per azioni di brevissima durata, quali il sisma, in cui il legno diviene molto più rigido e resistente. In realtà il modulo elastico del legno rimane sempre più basso rispetto agli altri materiali da costruzione, come il cls, ma tutti ciò gli porta a avere una maggiore flessibilità che si può tradurre in una diminuzione dell'intensità dell'azione sismica.

A livello teorico, il legno dovrebbe presentare un comportamento a rottura "plastico", deformandosi molto sino a collasso. In realtà, a causa di difetti più o meno estesi, il comportamento a rottura del legno è spesso fragile. Per supplire alla mancanza di duttilità, utile per dissipare energia durante il terremoto, è espressamente richiesto dalla normativa che i mezzi di collegamento siano duttili o abbiano comportamento duttile³². Questa capacità è facilmente raggiungibile grazie alla deformabilità dei connettori metallici e agli effetti del rifollamento sul legno.

32 La normativa tecnica sulle costruzioni italiana, D.M. 14 gennaio 2008, identifica come a comportamento duttile in grado di dissipare energia nel caso di terremoti, le connessioni meccaniche con le seguenti caratteristiche:

- collegamenti legno-legno o legno-acciaio realizzati con perni o con chiodi presentanti diametro d non maggiore di 12 mm e spessore delle membrature lignee collegate non minore di $10d$;
- nelle pareti e nei diaframmi con telaio in legno, il materiale di rivestimento strutturale è di legno o di materiale da esso derivato, con uno spessore minimo pari a $4d$ e con diametro d dei chiodi non superiore a 3,1 mm.

I pannelli a base di legno connessi con mezzi di unione meccanici al telaio di legno, come nelle costruzioni a Balloon frame (vedi pagina 247), formano una struttura di elevata resistenza ai terremoti: sia perché hanno un comportamento a “scatola”, sia in quanto la presenza di migliaia di chiodi che collegano gli elementi in legno con i pannelli svolgono un ruolo fondamentale nella dissipazione dell'energia.

Pannelli di legno

Un caso particolare lo ricoprono i pannelli a base di legno. La resistenza del legno, come in una catena, è determinata dall'anello più debole (difetti quali nodi, tasche di resina, deviazione della fibratura, ecc.) piuttosto che dal materiale “perfetto” in quanto tale, che può essere da due a quattro più performante che nei segati. La necessità di porre in opera elementi “piani” senza procedere al difficile e scarso assemblaggio di tavole in legno, e di controllare la distribuzione dei difetti, ha portato alla produzione di vari materiali provenienti dalla lavorazione del legno. È così possibile creare pannelli ricostituendo il legno mediante incollaggio dopo averlo sezionato in parti più piccole. Questi possono essere usati con successo come elementi singoli aventi a volte prestazioni strutturali maggiori rispetto al legno, in quanto i difetti naturali (grossi e pochi), si distribuiscono all'interno del materiale, (divenendo piccoli e numerosi), diminuendo la variabilità delle proprietà meccaniche, oppure accoppiati il legno massiccio³³, cercando di ottimizzare la funzione che essi andranno a svolgere. Dato che in molti tipi di pannelli le fibre ricostituite hanno orientamento casuale (tranne che nei pannelli OSB), le proprietà meccaniche sono meno influenzate dalla direzione della sollecitazione e hanno maggiore stabilità dimensionale nel piano del pannello. La produzione di questi materiali a base di legno consuma molta energia, ma ciò è compensato dai vantaggi dell'impiego i legname in piccole dimensioni, di scarto o di rapido accrescimento³⁴. Tuttavia, rispetto al legno

33 Vedi la creazione elementi composti quali travi a “I” o a cassetta.

34 Solo il 50% del volume di un tronco viene utilizzato per la produzione segati in legno, mentre gli scarti di lavorazione sono utilizzati per la produzione di pasta e carta, pannelli ricostituiti e alla fine, per la produzione di energia.

“netto”, i pannelli sono più soggetti all'aumento della deformazione sotto carico nel tempo a causa della presenza degli adesivi.

Pannelli di compensato

I pannelli compensati sono formati da fogli di legno (almeno 3), ottenuti attraverso sfogliatura o tranciatura del tronco (toppo), incollati in modo tale da avere le fibre degli strati perpendicolari fra loro: i movimenti dovuti al ritiro e rigonfiamento fra gli strati adiacenti si “compensano” fra loro. Inoltre in questo modo è possibile ridurre l'anisotropia tipica del legno massiccio. I fogli sono incollati sempre in numero dispari e hanno spessore di pochi millimetri. Ovviamente maggiore è il numero di strati, e di conseguenza lo spessore, maggiore sarà la resistenza del pannello. Il compensato strutturale è spesso usato per la creazione di pareti di taglio (vedi il sistema a Balloon frame a pagina 247 e a Platform frame a pagina 248) ma può anche essere utilizzato come ala o anima di travi composte o a cassetta, o nelle strutture reticolari.

Pannelli di fibre

Per la produzione di questi pannelli il legno viene ridotto nei suoi costituenti istologici fondamentali, cioè le fibre, provvedendo a assemblarle nuovamente delle dimensioni e spessori voluti attraverso l'incollaggio. Le fibre di questi pannelli, a differenza della loro giacitura originale, non hanno una direzione preferenziale e si possono avere a seconda della massa volumica apparente pannelli semiduri, da 400 a 800 kg/m³, duri, da 800 a 1200 kg/m³, o extraduri da 1200 a 1400 kg/m³. Molto diffusi sono i pannelli MDF (*Medium Density Fiberboard*) con massa fra i 600 e 800 kg/m³, e grazie alla loro maggiore rigidità sono spesso usati per la realizzazioni di diaframmi o pareti di separazione per interni, o per l'assemblaggio di sezioni strutturali composite, usualmente come anima negli elementi strutturali a “I”.

Pannelli di particelle

Il processo di produzione di questi pannelli è simile a quelli di fibre ma in questo caso

i componenti hanno dimensioni maggiori, assimilabili a dimensioni truciolari, assemblati sotto pressione e calore, con l'aggiunta di un adesivo. Nei pannelli truciolari i *chips* di legno costituiscono l'85% e il loro orientamento è casuale, permettendo lo stesso comportamento meccanico in tutte le direzioni del piano del pannello stesso. Un tipo particolare di questi pannelli, che ha volte viene fatto coincidere con una categoria autonoma a sé stante, sono i pannelli OSB (*Oriented Strand Board*). Questi pannelli, come dice il nome stesso, sono formati da scaglie orientate lunghe da 50 a 75 mm e larghe meno di metà lunghezza, assemblate mediante incollaggio. Questi pannelli possono assolvere scopi strutturali. Lo spessore è variabile fra i 4 e 40 mm, con massa fra i 500 kg/m³ e i 750 kg/m³, arrivando a dimensioni notevoli pari a 2,10x5,10 m. Anche in questo caso i pannelli possono assolvere funzioni costruttive e strutturali. Sono spesso impiegati per la realizzazione di recinzioni di cantiere e quindi sono di facile reperibilità nell'abito del riuso.

Elementi strutturali in legno

Sezioni circolari

Le sezioni circolari sono in assoluto le più economiche. Anche se di solito la variabilità della proprietà dei materiali a base di legno diminuisce all'aumentare delle lavorazioni, le sezioni circolari costituiscono un'eccezione in quanto la direzione naturale della fibratura non viene interrotta, aumentandone la resistenza. Se utilizzate come elementi portanti verticali, esse non presentano un piano preferenziale di instabilità, data la geometria circolare della sezione. Le colonne in legno hanno usualmente un rapporto fra dimensione della sezione e altezza pari a 1:25, arrivando fino a 1:10 per carichi elevati. D'altro canto presentano maggiori difficoltà nella realizzazione dei nodi rispetto alle sezioni piane e data la restrizione dimensionale dovuta alla circonferenza naturale del tronco, l'interasse fra i pilastri può raggiungere al massimo i 12 metri. Per quanto riguarda elementi utilizzati in orizzontale, la fresatura di stabilizzazione, o le eventuali fessure da ritiro, devono

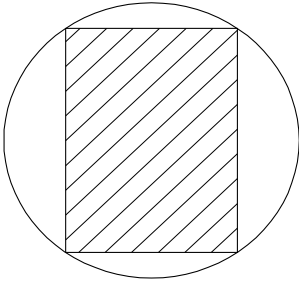
essere posizionate parallele all'asse verticale della sezione, preferibilmente sul lato inferiore. Quando la sezione dei singoli elementi non è sufficiente a raggiungere la resistenza desiderata è possibile realizzare delle travi composte attraverso l'incavocchiamento di due sezioni con almeno un lato di contatto piano, oppure accostarle senza la necessità di un collegamento rigido. La figura in questa pagina rappresenta una tipologia combinazione di elementi lignei attraverso legatura, resistente nel tempo.



Illustrazione 29: Alvar Aalto, Villa Mairea, anno 1938-1939.

Sezioni quadrate e profilate

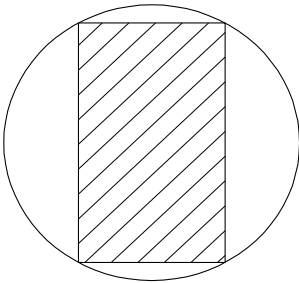
Le sezioni quadrate in legno sono quelle più diffuse. La lunghezza limite per questo tipo di elementi è pari a circa 8 metri a causa delle misure naturali dei tronchi. Qualora contengano il midollo, sono necessarie fresature di stabilizzazione, in grado anche di accelerare l'essiccazione della sezione e facilitare l'eventuale impregnazione preservante. I piani da cui sono formate permettono un facile collegamento fra i diversi elementi costituenti il telaio strutturale.



W_{\max}

$$b = 0,581 \cdot d$$

$$h = 0,813 \cdot d$$



f_{\min}

$$b = 0,496 \cdot d$$

$$h = 0,868 \cdot d$$

Se da un tronco a sezione teoricamente circolare con diametro d , si vuole ottenere una trave rettangolare con il massimo modulo di resistenza³⁵, base e altezza dovranno avere un rapporto di circa 5:7, mentre per avere il valore minimo della freccia di inflessione il rapporto b/h è di 4:7.

In via di prima approssimazione, è solito usare per travi in legno massiccio a sezione rettangolare, un rapporto medio fra altezza e luce pari a:

$$h \approx L / 16$$

Questo significa che, per fare un esempio, in presenza di una luce fra gli appoggi pari a 3,5 m, si avrebbe una questo trave di altezza pari a circa 22 cm. La normativa tecnica prescrive che per elementi trave, in assenza di elementi di controvento trasversali intermedi, il rapporto altezza/spessore per una trave a sezione rettangolare debba rispettare la condizione $h/b \leq 4$, per evitare fenomeni di instabilità flessionale.

Elementi strutturali composti

Le sezioni composte sono formate da elementi circolari, quadrati o derivanti da pannelli a base di legno, connessi fra loro meccanicamente o mediante incollaggio. A quest'ultima categoria è possibile ricondurre il caso particolare del legno lamellare³⁶,

³⁵ Modulo di resistenza, $W=b \cdot h^2/6$.

³⁶ Il legno lamellare, che più che una semplice sezione, è un vero e proprio *nuovo* materiale strutturale, che riesce a mantenere tutti i pregi del legno massiccio, superandone i limiti, sia dimensionali (l'unico

che non verrà trattato in quanto, essendo un prodotto industriale, è lontano dalle logiche dell'autocostruzione. Il principio per ottenere sezioni efficienti è quello di aumentare il più possibile la “dispersione” dell'area rispetto all'asse mediano della sezione: questo fa sì che il momento d'inerzia cresca esponenzialmente (vedi immagine a pagina 199). Inoltre, il legno presenta un modulo di elasticità basso rispetto a calcestruzzo o l'acciaio, ma ciò può essere bilanciato dall'uso di tipologie strutturali rigide, come per esempio travi a “I”, al posto di sezioni rettangolari. Nei calcoli strutturali di elementi composti da parti connesse mediante assemblaggio meccanico, è necessario considerare lo scorrimento che ha luogo nelle unioni caricate. Questo aspetto concorre a determinare, anche in maniera significativa, il comportamento deformativo dell'elemento, e per questo motivo non potrà essere trascurato.

Travi assemblate meccanicamente

L'uso di travi composte risponde al bisogno di soddisfare una certa resistenza flessionale, che non può essere raggiunta con i singoli elementi a disposizione. Assemblando componenti di dimensione relativamente piccola è possibile raggiungere momenti d'inerzia anche molto elevati. Per bassi valori di altezza della sezione, le prestazioni di travi composte meccanicamente risultano essere minori di quelle a sezione rettangolare piena, mentre sono più efficienti per valori di h elevati. Risparmiano materiale, sono più leggere a parità di resistenza, dato positivo sia per la movimentazione durante la produzione e il montaggio, che per diminuire i carichi propri.

La forma più semplice di trave composta è la sovrapposizione in verticale di due sezioni piene di forma rettangolare. Per far sì che le due travi lavorino insieme è necessario assicurare una perfetta solidarietà fra di loro: questo permette di avere un momento di resistenza quadruplo rispetto alla somma di quello delle singole sezioni

limite rimane ora la difficoltà di trasporto dalla fabbrica al cantiere nel caso di grandi elementi), sia fisici (riuscendo a controllare, diminuire e distribuire i difetti naturali del legno), riuscendo a utilizzare elementi di piccola sezione.

costituenti la trave. Un sistema particolarmente efficiente, che non presenta particolari problemi dal punto di vista esecutivo, è quello di collegare le due sezioni mediante guance continue costituite da tavole inclinate a 45° sui due lati, con direzione incrociata tra una faccia e l'altra, fissate mediante chiodatura. La frequenza dei connettori può variare linearmente in funzione degli sforzi di taglio agenti sulla trave, crescendo dalla mezzeria verso gli appoggi. Un utile suggerimento è quello di mantenere le due facce a contatto il più scabre possibile, aumentando così la resistenza a scorrimento delle due sezioni.

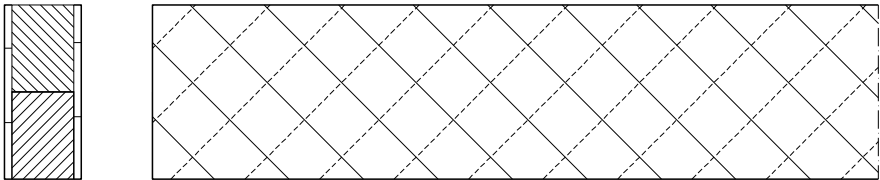


Illustrazione 30: travi sovrapposte collegate mediante guance continue di tavole inclinate a 45° .

Un sistema simile a quanto definito prima, è quello di utilizzare guance laterali, formate da tavole diagonali, per distanziare due sezioni piene di forma rettangolare: questa tipologia è detta scatolare o "a cassetta". Le travi scatolari che utilizzando al posto delle assi inclinate, pannelli di compensato strutturale, sono molto resistenti, riuscendo a coprire luci maggiori rispetto a travi massicce o lamellari (vedi tabella a pagina 226). Oltre alle travi "a cassetta" si possono realizzare svariati profili: a "I", a "T", a doppio "T", a "H" o a " Ω ", o in qualsiasi altra forma geometrica desiderata. Ovviamente la resistenza totale della trave composta sarà minore rispetto a quella del rettangolo pieno che circoscrive ma in questo modo si riuscirà a risparmiare materiale, investendo nella leggerezza, ottenendo una trave con grande resistenza formata elementi di piccola sezione. Il fattore forma³⁷, ossia la differenza di prestazione fra una sezione piena e una composta è di circa 0,70 per travi a doppio "T", di 0,79 "T" semplice, 0,69 per sezioni a "cassetta" con correnti uguali.

³⁷ Oltre i 30 cm di altezza è necessario ridurre ulteriormente tali coefficienti.

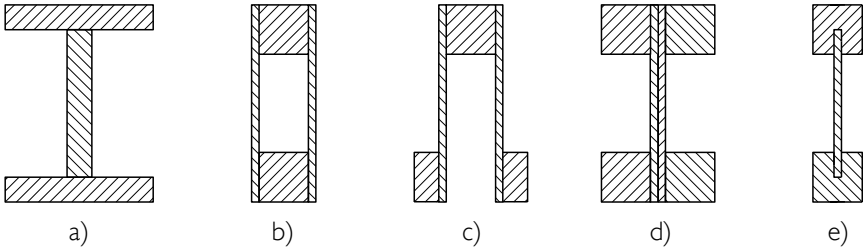


Illustrazione 31: travi composte: a),e) a "I"; b) a cassetta; c) a omega; d) a doppio "T".

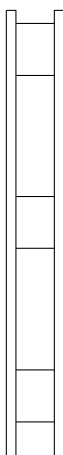
È possibile realizzare i tipi appena menzionati anche attraverso l'utilizzo di elementi "anima" in altri materiali, come pannelli di legno compensato, truciolari o simili. Le travi in legno composito sono più stabili alle variazioni di umidità. È possibile realizzare un particolare tipo di trave a "I" mediante incollaggio. I correnti in legno massiccio devono essere incisi con un solco sulla lunghezza per una profondità di 3-4 cm, per creare la guida nella quale verrà inserito il pannello di compensato che formerà l'anima della trave. Il fissaggio avviene tramite colle speciali per legno. Sebbene l'incisione possa sembrare un'operazione relativamente complessa e lunga, in realtà può essere fatta dal rivenditore di legname, evitando quindi ai costruttori di utilizzare macchinari complessi.

Sono stati presentati soltanto alcune delle infinite possibilità di realizzazione di travi composte in legno. Le possibilità aumentano ulteriormente componendo sezioni miste, con materiali di recupero. Lasciamo libertà di trovare soluzioni sempre più efficaci al progettista, ricordandosi che qualsiasi soluzione dovrà in ogni caso dimostrare di rispondere ai requisiti di sicurezza strutturale.

Aste composte

Le colonne o aste sono elementi verticali che usualmente arrivano fino alle fondazioni e che scaricano a terra i carichi. Contro gli spruzzi d'acqua alla base dei pilastri, come già detto, bisogna prevedere una distanza da quota 0 di almeno 15 cm. Oltre che a sezione piena circolare o profilata, esse possono essere realizzate

mediante assemblaggio meccanico di più parti.



L'E.C.5 permette di calcolare colonne composte a montanti distanziati da imbottiture o calastrelli³⁸. Come ricordato più volte, distanziando gli elementi si aumenta il momento d'inerzia³⁹ dell'interna sezione, migliorando l'efficienza strutturale. In un'ottica di riuso, gli elementi distanziatori possono essere realizzati con le zeppe dei pallet in legno. I montanti verticali devono essere realizzati con un unico pezzo lungo per tutta la lunghezza e le unioni possono essere sia chiodate che imbullonate. I montanti devono essere collegati almeno alle due estremità e in mezzzeria. La distanza fra i montanti non deve essere maggiore di 3 volte lo spessore dei montanti stessi per imbottiture e 6 volte per calastrelli.



Illustrazione
32: colonna

Per la realizzazione di pilastri è anche possibile utilizzare colonne tralicciate a "V" o a "N". In questo caso, in ogni connessione fra le varie parti di legno devono essere presenti almeno 4 chiodi per ciascun piano di taglio.

Travature reticolari

È possibile realizzare travature reticolari (vedi pagina 200) utilizzando come diagonali o montanti elementi lignei di breve lunghezza, assemblati meccanicamente con correnti superiori e inferiori continui. Nell'ottica dell'autocostruzione questo sistema permette di realizzare elementi trave in cantiere, anche per luci elevate, utilizzando elementi che altrimenti andrebbero scartati. Per il calcolo strutturale di questi sistemi strutturali si deve tener conto delle deformazioni nelle unioni, mentre lo scorrimento può essere trascurato se non determinante nella distribuzione degli sforzi e dei momenti negli elementi. Le linee baricentriche degli elementi si devono incontrare in

38 Pezzo di legno congiunto per traverso a altri due collaterali. La loro funzione è quella di ridurre la snellezza in aste compresse.

39 Appare chiaro come, a causa del collegamento non perfettamente rigido fornito da chiodi e bulloni il momento d'inerzia effettivo sarà minore di quello teorico.

un solo punto, il nodo. Se ciò non è strettamente fattibile, è consigliabile progettare e realizzare la trave reticolare in modo tale che gli assi degli elementi concorrenti in un nodo, cioè i montanti e i diagonali, si incrocino almeno all'interno della larghezza dell'elemento corrente. In tal caso gli effetti dovuti all'eccentricità della connessioni possono essere trascurati nel calcolo. In linea generale è possibile considerare i nodi come cerniere. Le singole aste compresse dovranno essere verificate ovviamente anche a instabilità. In una travatura reticolare a maglie triangolari (vedi disegno seguente) gli sforzi maggiori si hanno sui correnti orizzontali della stessa. In un'ipotesi in cui la struttura è composta dal raddoppio di un elemento è quindi più conveniente disporre il raddoppio sui correnti. Il traliccio in legno è uno degli elementi più usati per le strutture di copertura grazie alla sua ampia variabilità di configurazione e degli elementi utilizzati, in grado di superare luci anche elevate.

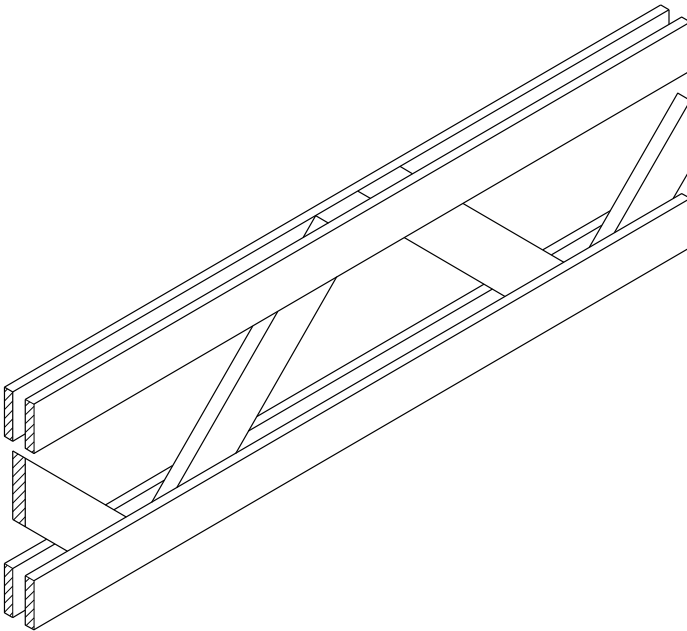


Illustrazione 33: travatura reticolare.

Voltine prismatiche

Ispirandosi al concetto esposto a pagina 189 a proposito del foglio di carta, è possibile realizzare assemblando elementi lignei lineari, un elemento strutturale a superficie corrugata che lavora a *pietra*. Questo tipo di struttura è formata da elementi in parete sottile (assi), collegati fra di loro attraverso chiodatura lungo i bordi. L'instabilità della zona compressa, data la snellezza flessionale delle assi, viene controventata dall'elemento adiacente. L'angolo formato fra gli elementi deve essere relativamente acuto affinché si verifichi questo controventamento. Affiancate a 45° non vi è necessità di sagomare i pezzi, che sono facilmente inchiodabili fra di loro. Spesso per irrigidire la struttura vengono usati pannelli di compensato inchiodati su piccoli telai in listelli di legno, in sostituzione di sezioni rettangolari piene.

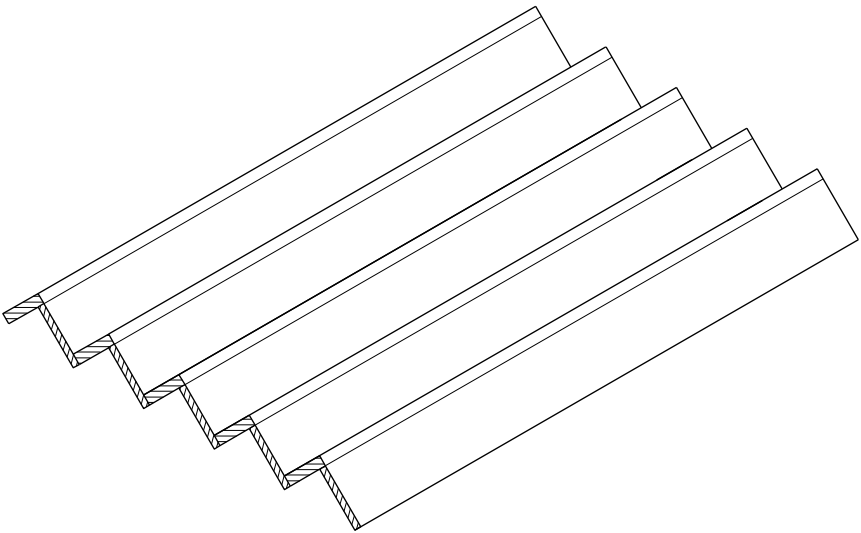


Illustrazione 34: voltine prismatiche in assi di legno inchiodate.

Archi

La realizzazione di strutture in legno a asse non rettilineo sono oggi soddisfatte egregiamente dalla tecnologia del legno lamellare. In realtà è possibile realizzare strutture a arco con tavole di legno, assemblando pacchi di tavole disposte di coltello

e affiancandole. La curvatura si ottiene attraverso la segagione seguendo una traccia prestabilita. Seguendo la disposizione presentata nella figura seguente, è chiaro che in questo modo la linea di scarico delle forze all'interno dell'asse non coinciderà con la direzione della fibratura se non in mezzeria degli elementi, e questo porterà a una sensibile diminuzione della resistenza. Un altro sistema per la creazione di strutture a arco è quella di usare elementi lineari a formare una spezzata. I giunti fra gli elementi dovranno essere rigidi, visto che superate le tre cerniere strutturali nessun arco è grado di resistere. A dimostrazione di quanto possano essere svariate le soluzioni utilizzando materiali di recupero, è possibile realizzare una struttura a doppio arco assemblando bancali di legno.

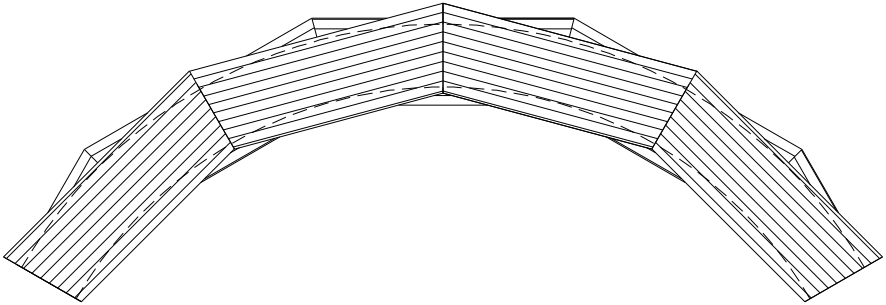


Illustrazione 35: elementi a arco ottenuti mediante "pacchi" di tavole poste di coltello affiancate.

Diaframmi

Per diaframmi vengono intesi i pannelli di materiale derivato dal legno sia orizzontali, costituenti solai o coperture, che verticali, collegati a un sottostante telaio in legno attraverso mezzi di unioni meccanici. Dal punto di vista statico questi pannelli intelaiati possono essere considerati aventi un comportamento a piastra (orizzontale) o a lastra (verticale), utile come controventamento dell'edificio. In pratica il comportamento resistente del sistema a Balloon frame o Platform frame è basato sull'assemblaggio di questi diaframmi (vedi pagina 247, 248). Per quanto riguarda i diaframmi orizzontali, i pannelli di rivestimento non intestati in

corrispondenza di travi, oppure di arcarecci, devono essere collegati fra loro, anche per mezzo di listelli che saranno a loro volta inchiodati alle travi o arcarecci, con interasse massimo fra la chiodatura (meglio se a aderenza migliorata o usando connessioni a vite) di 150 mm. Per quanto riguarda i pannelli costituenti pareti di taglio, lungo i bordi dei pannelli stessi l'interasse non deve superare i 150 mm per unioni chiodate, e 200 mm per unioni con viti. Tutti i bordi dei rivestimenti strutturali devono essere collegati agli elementi del telaio. Sia per diaframmi orizzontali che verticali nelle zone che non riguardano i bordi l'interasse massimo fra i mezzi di unioni meccanici deve essere minore o uguale a 300 mm. La capacità portante delle connessioni lungo i bordi può essere aumentata del 20% rispetto a valori normali. Qualora siano presenti aperture quali porte o finestre, o comunque di area superiore a 400 cm² i pannelli non possono essere considerati come resistenti a lastra.

La normativa nazionale stabilisce che i pannelli strutturali nelle pareti di taglio o nei diaframmi orizzontali rispetto le seguenti condizioni:

- i pannelli di particelle hanno una massa volumica non inferiore a 650 kg/m³ e spessore non inferiore a 13 mm;
- i pannelli di compensato presentano spessore non inferiore a 9 mm.

Questi pannelli oltre a creare un comportamento resistente nel piano possono anche essere utili per la ripartizione dei carichi agenti, per esempio sugli elementi di solaio. L'E.C.5 permette di aumentare del 10% la resistenza degli elementi qualora sia presente un sistema di ripartizione dei carichi, sempre che esso sia stato dimensionato correttamente per resistere a carichi permanenti e variabili e che i pannelli siano continui su almeno due campate e le unioni fra di essi siano sfalsate. Questi sono di solito di compensato strutturale, ma verificate le caratteristiche resistenti, possono essere composti da qualsiasi materiale a base di legno, come pannelli OSB o MDF.

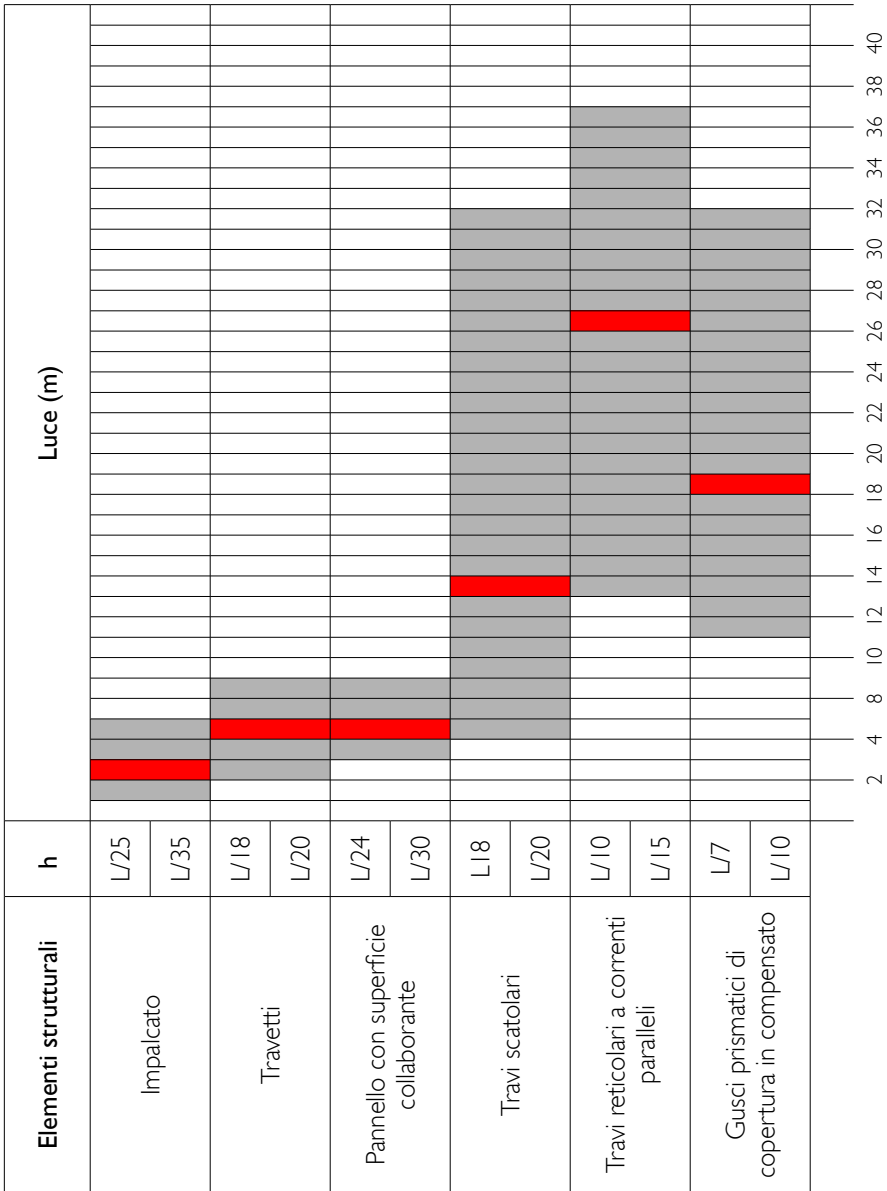


Tabella 7: valori approssimati di altezza per sistemi strutturali in legno, rappresentati con le luci tipiche (in rosso) e il campo di variabilità possibile (in grigio). (Fonte: Schodek D. L., *Strutture*, traduzione a cura di Coronelli D., Martinelli L., Pàtron editore, Bologna, 2004)

Unioni meccaniche

La connessione fra i vari elementi portanti, è una delle parti più delicate di tutto il progetto di strutture in legno⁴⁰. I giunti contribuiscono a determinare la durabilità della struttura, il comportamento statico e deformativo, e sono fondamentali nell'assorbimento delle azioni dinamiche, quali il sisma, per la dissipazione dell'energia (vedi pagina 211). In questo manuale verranno prese in considerazione esclusivamente connessioni meccaniche realizzabili agevolmente in cantiere da manodopera non specializzata, escludendo quindi unioni incollate e quelle cosiddette "tradizionali", nei quali le forze di pressione si trasmettono per contatto, attraverso la realizzazione di giunti in carpenteria lignea. Le connessioni "moderne" si basano sulla sovrapposizione degli elementi e sul successivo collegamento reciproco resistente a taglio, ottenuto grazie all'utilizzo di connettori metallici⁴¹ quali chiodi, bulloni, spinotti, viti, connettori a anello o a disco dentato, e piastre metalliche punzonate. I giunti meccanici sono a tutt'oggi i più affidabili, in quando non indeboliscono in modo rilevante la struttura. L'E.C.5 permette di tralasciare eventuali riduzioni d'area della sezione trasversale in corrispondenza delle unioni nei seguenti casi:

- chiodi con un diametro di 6 mm o minore, infissi senza preforatura;
- fori per bulloni, spinotti, viti e chiodi disposti simmetricamente in elementi strutturali compressi (pilastri);
- fori nella zona compressa di elementi inflessi, qualora i fori stessi siano riempiti con materiale avente maggiore rigidità del legno⁴².

In presenza di giunti meccanici è necessario considerare nei calcoli l'influenza della deformabilità e dello scorrimento degli stessi. Sono da evitare il più possibile le eccentricità nella connessione, in modo da minimizzare gli sforzi parassiti che si possono venire a creare. Durante l'esecuzione delle unioni, l'umidità del legno,

⁴⁰ Per quanto riguarda i giunti, la normativa italiana si rifà a quanto indicato nelle norme UNI EN.

⁴¹ Qualora non si vogliano utilizzare elementi metallici dovranno essere utilizzate connessioni con legno duro (Quercia, Frassino, Robinia), compensato o legno multistrato.

⁴² EC5; 3.2.3; P(2).

dovrebbe essere ridotta al minimo, o comunque non essere più elevata di quella in opera, anche se questo è un aspetto difficilmente ottenibile in cantiere.

Un sistema che utilizza connettori puntali piccoli e distribuiti (chiodi) è preferibile rispetto all'uso di pochi e grandi (spinotti), in quanto riesce a evitare le concentrazioni di sforzi localizzati, che possono risultare critiche. La normativa vieta l'utilizzo di bulloni o perni (spinotti) di diametro superiore a 16 mm nelle unioni legno-legno o acciaio-legno. Inoltre, l'utilizzo di piccoli elementi molto numerosi è utile in quanto si ottiene una connessione molto più duttile, riuscendo a ridurre il rischio di rotture o fessurazioni locali, dovute a variazioni di umidità interne. Generalmente questi elementi sono più piccoli del giunto stesso e hanno caratteristiche di resistenza superiori e, per questo motivo, la verifica principale da eseguire è di solito, la resistenza a rifollamento delle pareti del foro dove giace il connettore. Il modo migliore per far lavorare le connessioni meccaniche è quello di inserirle perpendicolarmente alla fibratura. Nel caso di tensioni perpendicolari alla fibratura, si devono osservare disposizioni aggiuntive al fine di evitare l'innescio di fratture parallele alla fibratura (splitting). In presenza di più elementi di connessione posti uno dopo l'altro, sull'asse della forza di taglio a cui resistere, la resistenza totale del giunto sarà minore rispetto alla somma delle singole resistenze di ogni connettore⁴³. Per esempio, per unioni con più di 6 bulloni allineati lungo la direzione dello sforzo, la capacità portante di bulloni aggiuntivi dovrà essere ridotta di 1/3.

Grazie alla facilità di realizzazione in cantiere usando pistole a aria compressa o trapani appositi, le unioni chiodate sono tra le più facili da realizzare e economicamente convenienti. Questo tipo di unioni permette di realizzare velocemente travi reticolari o scatolari, trattate nelle pagine precedenti, partendo da elementi lineari come tavole o assi. L'utilizzo di lamiera in acciaio laminato a freddo dello spessore ridotto a pochi millimetri, preforate in officina, e inchiodate in opera, ha permesso di realizzare diversi tipi di unioni (vedi pagina seguente). Per quanto

43 EC5, 6. Unioni, 6.1 Generalità, P(2): «Si deve tenere conto del fatto che la capacità portante caratteristica di una unione realizzata con più mezzi di unione sarà di solito minore della somma delle capacità dei singoli mezzi di unione.»

riguarda nello specifico le unioni chiodate, preferibili in un ottica di autocostruibilità delle strutture, l'E.C.5 da queste indicazioni:

- un'unione chiodata deve essere composta da almeno 2 chiodi;
- è opportuno utilizzare chiodi che abbiano testa pari ad almeno $2d^{44}$;
- per chiodi lisci la profondità di infissione è opportuno sia almeno pari a $8d$; per chiodi a aderenza migliorata, $6d$;
- con legname avente una massa volumica caratteristica maggiore o uguale a 500 kg/m^3 , è opportuno preforare;
- è opportuno che il diametro della preforatura non superi $0,8d$.

É inoltre opportuno non considerare come resistenti chiodi a gambo liscio sollecitati a estrazione, usando per questo chiodi a aderenza migliorata (a gambo filettato o con scanalature anulari), e in ogni caso i chiodi infissi nella testa dell'elemento ligneo.

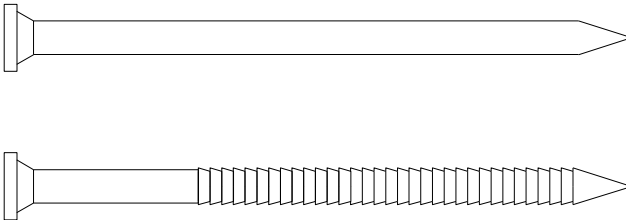


Illustrazione 36: chiodo a gambo liscio (in alto) e a aderenza migliorata.

Gli interassi minimi prescritti dalla normativa, nelle unioni chiodate, possono essere ridotti nelle seguenti condizioni:

- chiodi infissi con preforatura;
- unioni legno-compensato (riduzione interassi pari a 25%);
- unioni legno-acciaio (riduzione interassi pari a 30%).

L'E.C.5 stabilisce che per connessioni avitate, con d fino a 8 mm, valgono le stesse

⁴⁴ Diametro del connettore.

regole di quelle chiodate. A differenza di queste però, le unioni con viti permettono una maggiore reversibilità. Altre unioni meccaniche efficienti sono quelle spinottate o imbullonate. Le spine, che poter essere considerate tali devono avere diametro maggiore o uguale a 6 mm, inserite a forza nel legno, sono da preferire ai bulloni in quanto per quest'ultimi viene eseguita una preforatura di diametro maggiore⁴⁵ rispetto a quello del bullone stesso. Questo implica modo un maggior "gioco" della connessione e quindi una minor resistenza e un maggior scorrimento iniziale. La normativa prevede infatti interassi fra i connettori, minori per le unioni spinottate. La rondella a supporto della tesa del bullone deve avere un diametro almeno pari a $3d$, con spessore $0,3d$. I connettori a anello o a disco dentato sono generalmente utilizzati per la creazione di connessione resistenti a momento.

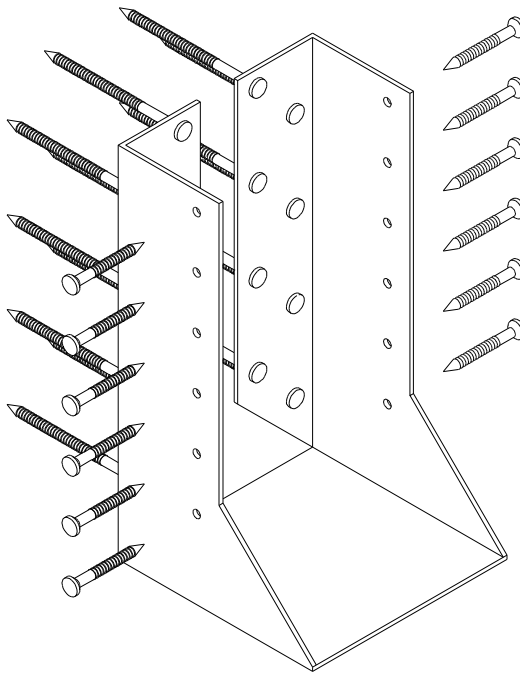


Illustrazione 37: connessione chiodata con scarpa metallica.

⁴⁵ In ogni caso la differenza fra il foro e il diametro del bullone può essere al massimo pari a 1 mm.

Metodi costruttivi in legno

Esistono diverse tipologie di costruzioni in legno. La classificazione viene di norma fatta in base al tipo di struttura portante. A livello generale è possibile fare riferimento a due grandi gruppi: costruzione in legno massiccio, e costruzioni in legno leggero. I sistemi costruttivi elencati possono essere comunque combinati l'uno con l'altro.

Costruzioni (in legno) di tipo massiccio

- Blockbau
- a pacchetti di tavole
- con compensato di tavole

Costruzioni (in legno) di tipo leggero

- A ossatura portante
- a traliccio
- intelaiate

Sistemi costruttivi di tipo massiccio

Blockbau

Elementi lineari massicci usualmente di Conifera sono assemblati orizzontalmente a formare pareti portanti. Le connessioni sono effettuate agli spigoli attraverso giunzioni in carpenteria. Le sollecitazioni agiscono sugli elementi perpendicolarmente alla fibre e, data l'elevata deformabilità in questa direzione, causano grandi deformazioni di assestamento.

Sistema costruttivo a pacchetti di tavole parallele

A differenza del tipo Blockbau, gli elementi piani massicci, di spessore variabile da 8 a 12 cm, sono costituiti da tavole o lamelle impiegate "in piedi". Vengono affiancate di costa e collegate attraverso unioni chiodate che servono per assorbire gli sforzi di taglio.

Sistema costruttivo con legno compensato di tavole

In queste costruzioni la struttura portante è formata da elementi piani in compensato di tavole (BBS). La potenzialità di questi elementi è che essi hanno un

funzionamento a lastra o a piastra a seconda che siano verticali o orizzontali, avendo grande resistenza e rigidità con ridotti spessori. Gli elementi arrivano in cantiere preassemblati e i vari pannelli devono essere solamente connessi fra di loro a piè d'opera, con giunti a incastro supportati da giunzioni metalliche. Oltre che per singole pareti il compensato di tavole può essere utilizzato anche per la realizzazione di elementi lineari come travi e pilastri.

Sistemi costruttivi di tipo leggero

Sistema costruttivo a ossatura portante di legno

Insieme al sistema di costruttivo blockbau, l'ossatura portante in legno ha una lunga tradizione nella storia dell'uomo fin nella preistoria (per esempio le palafitte). In poche parole questo è il classico sistema travi-pilastri in legno. Questo metodo permette una grande flessibilità in pianta e in alzata in quanto i piani di tamponamento non devono sopportare nessuna azione statica, se non la funzione di irrigidimento del telaio. Nelle strutture a ossatura portante il modulo può avere queste dimensioni: 120 cm x 120 cm, 120 cm x 360 cm, 125 cm x 125 cm, 360 cm x 360 cm, 480 cm x 480 cm. Le luci libere possono variare tra 3 m e 8 m, ma si è rilevato che luci comprese tra 3,5 m e 4,5 m sono economicamente convenienti per edifici a uso residenziale. Recentemente il legno lamellare ha permesso un recente sviluppo di questo sistema strutturale che ora può contare su sezioni più grandi e con prestazioni migliori rispetto a quelle massicce. A pagina 234 sono presenti diversi tipi di nodi⁴⁶ strutturali del sistema costruttivo a ossatura portante. I nodi si classificano a seconda della disposizione dei vari elementi strutturali (montante, trave principale, trave secondaria). Il sistema migliore da scegliere può dipendere da vari fattori: la resistenza strutturale, il consumo di materiale, la difficoltà delle giunzioni.

Sistema costruttivo a traliccio di legno

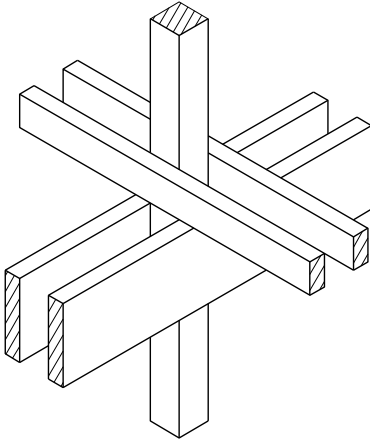
Il sistema a traliccio in legno utilizza elementi lineari a breve interasse, in cui la

⁴⁶ Viene definito nodo il punto in cui convergono almeno due aste.

funzione di controventamento è affidata a delle aste diagonali fra i montanti. Gli elementi hanno sezione di grande dimensione e di forma quadratica. Le connessioni fra gli elementi sono realizzate attraverso incastri e sovrapposizioni in carpenteria. I giunti vengono realizzati in fabbrica con estrema precisione. Le pareti a traliccio vengono poi rivestite su entrambi i lati, anche se questo rivestimento non ha funzione irrigidente.

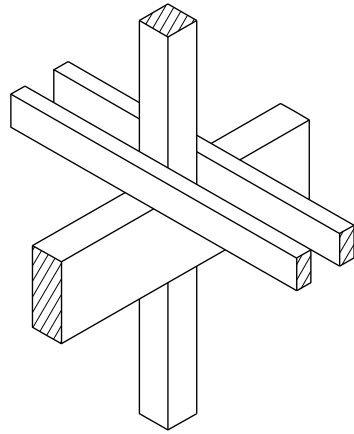
Sistema costruttivo a intelaiatura di legno

La definizione di “costruzione intelaiata di legno” deriva dall'inglese «timber frame», ossia telaio di legno. In questo tipo di costruzioni i carichi vengono assorbiti da elementi intelaiati in legno, montanti disposti a breve interasse, che accoppiati a dei rivestimenti strutturali piani o in tavole, formano dei diaframmi strutturali che lavorano a lastra, in cui non c'è differenza fra struttura, tamponamento e irrigidimento. Il rivestimento strutturale funziona anche da vincolo statico per gli elementi molto snelli del telaio, creando così un elemento rigido nelle due direzioni di sollecitazione a partire da elementi lineari di sezione ridotta e elementi piani. Le sezioni utilizzate sono relativamente piccole e le connessioni sono quasi esclusivamente chiodate, evitando le connessioni di carpenteria. La struttura viene definita piano per piano, assemblando a terra la parete che viene successivamente sollevata e messa in posizione (sistema Platform frame) o per due piani (sistema Balloon frame). Questa tipologia di costruzione in legno sono di facile esecuzione, soprattutto da manodopera non specializzata. Inoltre, è utile soprattutto per carichi uniformemente distribuiti di entità limitata e per luci modeste, funzionando ottimamente quindi per costruzione a uso residenziale. Il sistema a Balloon frame (pagina 247) e il Platform frame (pagina 248), più che sistemi portanti a telaio, devono essere considerati sistemi strutturali a parete portante.



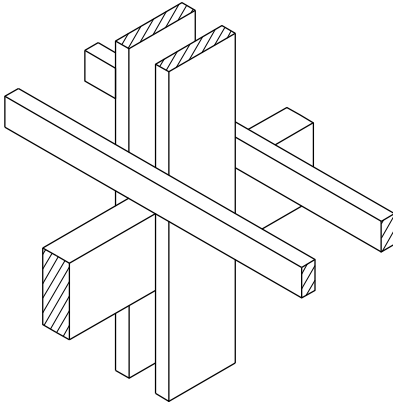
NODO 1

1. Montante continuo; trave principale suddivisa e continua, collegata lateralmente al montante; trave secondaria suddivisa e continua appoggiata alla trave principale. Collegamento tra trave principale e montante complesso.



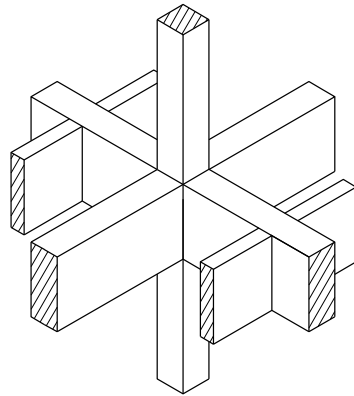
NODO 3

3. Montante interrotto e giacente sulla trave principale; trave principale continua appoggiata al montante; trave secondaria suddivisa e continua appoggiata alla trave principale.



NODO 2

2. Montante suddiviso continuo; trave principale continua collegata lateralmente al montante; trave secondaria continua. Collegamento tra trave principale e montante complesso.



NODO 4

4. Montante continuo; trave principale e secondaria interrotte e complanari. Connessioni complesse.

Tabella 8: nodi a ossatura portante in legno.

Sistema Lorenzo

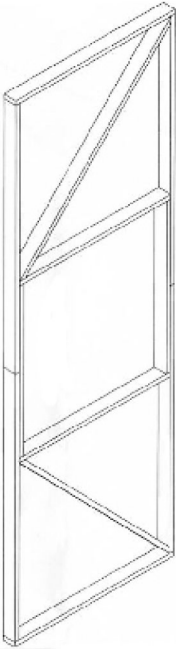


Illustrazione 38:
telaio della parete.

Questo sistema di costruzione in legno è stato riportato nella tesi di laurea di Damiano Carminati⁴⁷, e si tratta di un metodo costruttivo ideato da Pedro Lorenzo, architetto e docente spagnolo. L'idea fondante è di utilizzare solo delle assi in legno di piccola sezione e lunghezza limitate per realizzare tutti i componenti necessari a realizzare un'abitazione. Questo tipo di assi sono infatti economiche e facilmente lavorabili. Il sistema prevede di assemblare tra loro più assi in modo differente, a seconda del componente, sfruttando la loro modularità. Queste infatti hanno di solito una sezione di 2,5 cm x 7,5 cm, quindi in un rapporto di 1:3, e ciò consentiva a esempio di avere un pilastro composto da tre assi su cui poggiava il pannello di tamponamento. La struttura era composta da un telaio di pilastri quadrati 7,5 cm x 7,5 cm, con un interasse di 1 metro, nel quale venivano inseriti pannelli di 1 m x 3 m. Questo metodo, come tutti i sistemi a telaio, consente di realizzare velocemente la struttura portante e di prefabbricare i pannelli, in modo da

diminuire notevolmente i tempi di cantiere e facilitare le operazioni di posa in opera. I pilastri e i pannelli venivano poi uniti superiormente, da un cordolo, che assicurava stabilità e coesione tra le parti. Tramite delle diagonali permetteva anche il controventamento nelle intersezioni a angolo. Sul cordolo venivano poi poste delle travi reticolari sempre in legno, sulle quali poggiavano le travi della copertura. I rivestimenti interni e esterni venivano realizzati utilizzando assi in legno, più larghe di quelle fin' ora utilizzate, che venivano tagliate obliquamente per evitare l'infiltrazione d'acqua. I pannelli erano tripartiti orizzontalmente da elementi di controventamento che lasciavano libera la parte centrale, per inserire eventuali serramenti.

⁴⁷ 2007/08, Damiano Carminati, D., *WOBO 2.0, Prototipo di chiusura verticale in bottiglie di plastica*, Rel. Rogora A., Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura.

Metodo Segal

«L'elementarità del metodo è così notevole che stupisce che un'idea così semplice possa funzionare, ma ciò è la conferma che le idee più semplici sono le migliori.»⁴⁸

- Jon Broome -

L'architetto tedesco Walter Segal ideò nel secolo scorso un modello costruttivo in legno, derivato dal sistema a Balloon Frame (vedi pagine precedenti), che utilizza materiali da costruzione ordinari e tecniche di realizzazioni semplici. Per raggiungere questi obiettivi, Segal utilizzò componenti nelle forme e dimensioni di acquisto, riuscendo così a tenere bassi i costi e a ridurre gli sprechi di materiale. A partire da elementi standard in legno (di sezione 5 cm x 17,5 cm o 5 cm x 20 cm), creò una struttura *post and beam* modulare e autocostruibile. L'idea di base è stata quella di combinare pannelli leggeri in misure standard con una struttura in legno, composta da travi e pilastri imbullonati tra loro, che permette di raggiungere un'elevazione massima di due piani, vincolata alla lunghezza degli elementi in legno reperibili in commercio (circa 7 m). Così facendo era possibile costruire un edificio completamente "a secco", evitando l'utilizzo di malte e intonaci, e senza dovere sagomare i diversi elementi, risparmiando una notevole quantità di tempo. L'impianto modulare permette inoltre una grande flessibilità, sia per le partizioni interne che esterne, poiché i pannelli possono essere rimossi e posizionati altrove senza sconvolgere l'intera struttura dell'edificio. L'attacco fra le fondazioni e i montanti strutturali è realizzato come indicato a pagina 192. La griglia modulare, in cui trovano posto sia la struttura portante, sia le partizioni verticali interne e esterne, è composta da quadrati delle dimensioni 60 cm x 60 cm (o 120 cm x 120 cm), dimensioni derivate dai pannelli isolanti disponibili in commercio, intervallati da uno spazio di 5 cm, per permettere il posizionamento della struttura portante. Su questa griglia viene definito il disegno della pianta, avendo come unici vincoli gli ingombri dei pilastri e

⁴⁸ Jon Broome, architetto e collaboratore di Walter Segal.

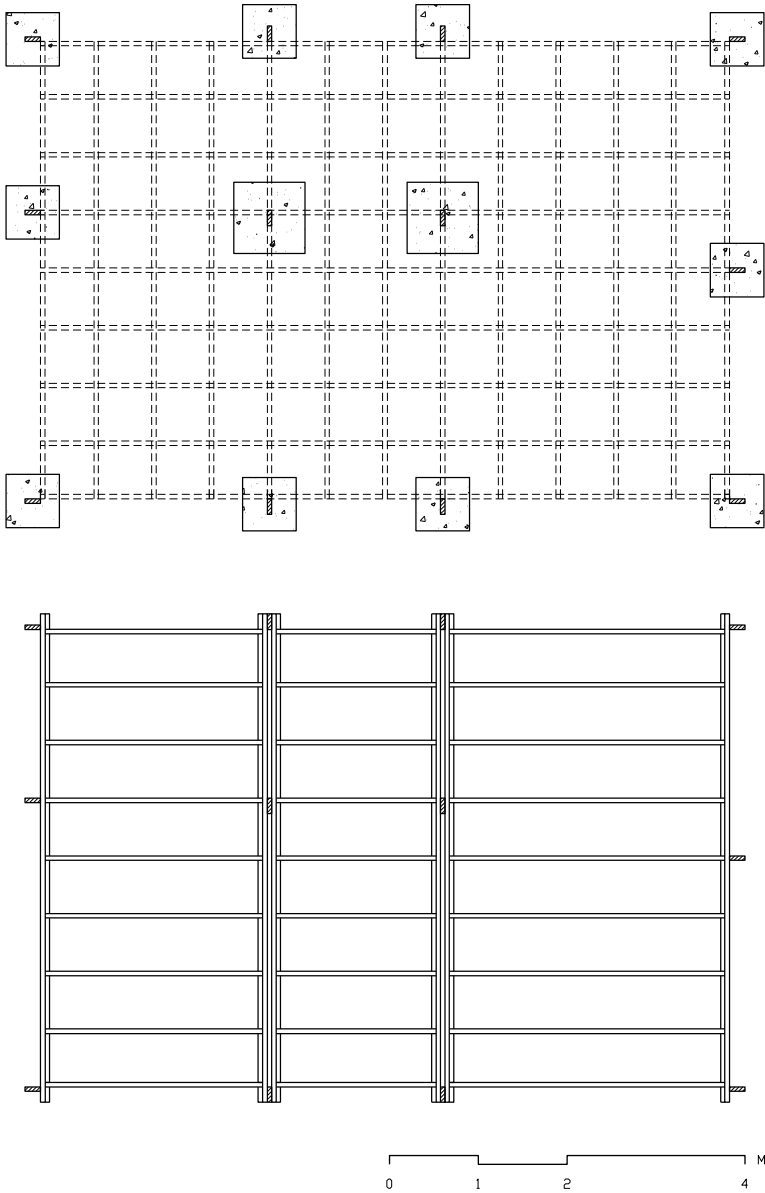


Illustrazione 39: pianta delle fondazioni e dei moduli (in alto), e pianta strutturale del piano terra di un edificio per Lewisham.

considerando un interasse massimo fra loro di 6 moduli (pari a 385 cm). Una volta definita la griglia modulare viene redatto il progetto della struttura. Questa si compone di telai verticali a giunti rigidi, realizzati a terra e accatastati al suolo, che vengono poi innalzati manualmente da più persone⁴⁹, attraverso aste e tiranti. Essi vengono puntati a terra in corrispondenza delle fondazioni e ribaltati verticalmente sollevando il telaio. I singoli telai vengono assicurati con tiranti provvisori in attesa che la struttura sia completamente controventata⁵⁰. A questo punto si procede alla realizzazione e montaggio delle travi secondarie nel rispetto dei moduli previsti, fino alla copertura. Le travi secondarie sono appoggiate a quelle principali attraverso un listello di sezione 5 cm x 5 cm che funge da sostegno. Le travi secondarie sono sagomate per aderire alla sezione a "L" della trave principale (formata da un sezione rettangolare con l'aggiunta di un listello quadrato alla base), e quindi rimangono in spessore. Le travi logicamente possono anche aggettare andando a formare bow-window, balconi, portici. L'aggetto della trave continua è di norma contenuto entro il 40% della lunghezza fra i due appoggi. Le scale interne e di accesso all'edificio sono facilmente realizzabili fissando le pedate dei gradini a dei tiranti appesi alle travi secondarie o principali sovrastanti. Il solaio di terra, sospeso verso l'esterno, è costituito da assi di legno appoggiate alle travi secondarie sulle quali viene posato del materiale isolante morbido. Gli impianti presenti vengono fatti passare al di sopra di questo strato, e successivamente viene chiuso il solaio superiormente con un altro strato di assito. Per le pareti esterne si procede più o meno nello stesso modo: sono costituite all'esterno da uno strato resistente alle intemperie, mentre all'interno sono di solito rifinite con un pannello di cartongesso. All'interno è previsto il normale strato isolante in lana di legno di 5 cm. Gli elementi venivano assemblati montando dei listelli di legno verticali, detti *cover strip*, per coprire le giunture fra i pannelli e i montanti in legno (5 cm x 5cm) e per migliorare la resistenza all'aria della parete. I

49 È necessario ricordare che tutte le fasi di lavoro seguono un iter bene preciso, a cui corrispondono vari momenti di lavoro collettivo.

50 Sono previste controventature verticali a "X" in una zona baricentrica dell'edificio. I solai sono considerati in grado di trasferire le forze orizzontali agenti nel loro piano, alla struttura verticali.

montanti verticali vengono assicurati alla struttura portante attraverso chiodatura. Tutte le condutture impiantistiche presenti sono ospitate all'interno delle intercapedini e sono in questo modo facilmente ispezionabili e manutenibili, senza effettuare spacchi nel muro, ma semplicemente procedendo allo smontaggio dei pannelli di rivestimento interni. Il progetto originale prevede una copertura piana (calpestabile) che lascia la massima libertà di divisione degli spazi interni sottostanti. Il tetto previsto è il cosiddetto *tetto freddo ventilato*, in cui lo strato isolante si trova verso l'interno rispetto allo strato resistente e impermeabile. Lo strato isolante è costituito da pannelli in lana di legno appoggiati alle travi secondarie, usati nelle dimensioni di vendita, ricoperti da carta Kraft. Fra l'isolate e l'impermeabilizzazione, composta da più strati di fogli bituminosi, è prevista una camera d'aria ventilata di circa 5 cm. Il rivestimento impermeabile del tetto è slegato alla struttura sottostante e questo gli permette di deformarsi liberamente senza lacerarsi. A protezione dello strato impermeabile è previsto inoltre uno strato di 4 cm di ghiaino. La particolarità di questo tetto è che esso non ha tanto la funzione di smaltire le acque meteoriche, quanto quella di raccoglierle. L'acqua è infatti imprigionata dentro questa "vasca" e questo peso aggiuntivo è funzionale alla stabilità dell'edificio.

Segal sperimentò questo metodo per la prima volta con la Temporary House, nel 1963 a Londra. L'architetto comprò un lotto di terreno nella zona di Highgate a Londra per costruire la propria abitazione. Mentre questa veniva edificata, costruì nel giardino un bungalow provvisorio per sé e per la sua famiglia. Questa sistemazione temporanea segnò la nascita del metodo Segal. Nonostante fosse prevista come provvisoria, l'abitazione dopo 40 anni è ancora in ottimo stato di conservazione. Dopo la Temporary House Segal venne contattato per la costruzione di altri edifici con questo tipo di struttura nel quartiere di Lewisham, sempre a Londra.

Bambù

Prima di terminare la trattazione sul legno, è doveroso un sguardo al mondo del bambù. Questo condivide con il legno numerosi aspetti, quali il fatto di essere un materiale da costruzione antichissimo. La sottofamiglia dei bambù (Bambusoideae) riunisce un gruppo di erbe giganti (graminacee) di cui fanno parte oltre 100 generi e circa 1400 specie. A sua volta si possono determinare due grandi gruppi: i bambù erbacei e i bambù legnosi. Queste piante sono sempreverdi e perenni, molto vigorose e possono essere alte da pochi centimetri fino a raggiungere notevoli dimensioni (anche 40 m di altezza e 30 cm di diametro, con parete di spessore fino a 2 cm), crescendo rapidamente, in rari casi, fino a 1 m al giorno! I boschi di bambù ricoprono oltre 20 milioni di ettari fra Asia, America latina e Africa, pari all'1% dell'intera superficie boschiva mondiale. La pianta del bambù è formata principalmente da una struttura cilindrica di sezione circolare o pseudo-rettangolare, formata da più segmenti, detta culmo. Questa è composta da una parte inferiore di connessione con il rizoma e da segmenti, di solito a sezione cava, detti internodi, collegati dai nodi, da cui dipartono i rami. Come il legno, essendo un materiale di origine naturale, è sottoposto a attacchi chimici e biologici (oltre che fisici), ma a differenza del primo presenta una durabilità decisamente inferiore. Necessita quindi di adeguati trattamenti preservanti, attraverso metodi tradizionali o di sintesi, atti a conservare le sottili sezioni legnose, e di scelte progettuali consapevoli, per proteggerlo dall'umidità. La presenza o assenza di acqua determina infatti deformazioni e ritiri. Dallo stato "verde" a quello in equilibrio ($U_r = 20\%$) un culmo può subire un ritiro in direzione radiale dal 4% al 14% nello spessore della parete legnosa, e dal 3% al 12% del diametro, mentre la variazione in direzione assiale è pressoché nulla. Anche il fuoco è un grande fattore di rischio per le strutture in bambù.

Dal punto di vista ambientale, il bambù è addirittura migliore del legno, per le seguenti ragioni:

- risulta essere il materiale meno impattante sull'ambiente, anche considerando il trasporto intercontinentale;
- è in grado di catturare 4 volte più CO₂ rispetto alle giovani foreste, producendo il 35% in più di ossigeno;
- cresce molto velocemente e questo permette una maggiore disponibilità di utilizzo, avendo un rendimento (peso/ha.anno) fino a 25 volte quello del legno;
- a differenza di quest'ultimo, una volta tagliato il fusto, l'apparato radicale rimane integro e i nuovi butti sono in grado di rinascere dal vecchio ceppo, continuando così a proteggere quella parte di suolo dall'erosione.

Materiale	Modulo elastico (MPa)	Massa/volume (kg/m ³)	Resistenza/peso	Modulo elastico/peso
Cemento	5.000	2.400	0,003	10
Acciaio	210.000	7.800	0,020	27
Legno	11.000	600	0,013	18
Bambù	20.000	600	0,017	33

Tabella 9: confronto fra diverse proprietà dei materiali.

(Fonte: Casa&Clima, n.14, anno III, Settembre 2008, *Acciaio vegetale*, Quine Business Publisher)

La particolarità di questo vegetale è strettamente legata alle sue caratteristiche istologiche, che lo rendono unico nel suo genere. La migliore prestazione strutturale rispetto al legno è dovuta alla minor percentuale di tessuto conduttivo presente nei tessuti, arrivando al massimo al 10%, e l'assenza di cellule orientate radialmente. Inoltre il bambù presenta difetti, quali nodi e particolari anomalie, in quantità minore. Non si sviluppa secondo anelli di accrescimento radiali, ma la massa volumica aumenta gradualmente dall'interno verso l'esterno della sezione. Questa varia a seconda della parte di culmo considerata, in quanto il peso specifico cresce dal basso verso l'alto con l'aumentare della percentuale di fibre, e dall'età dello stesso: piante più giovani presentano masse minori. Come il legno, all'aumentare della massa volumica aumentano tutte le caratteristiche di resistenza meccanica, fortemente

influenzate dall'umidità adsorbita dai suoi tessuti. Il Bambù è particolarmente flessibile e leggero, e i suoi nodi caratteristici gli permettono di curvarsi senza rompersi, attributo che lo rende particolarmente resistente sotto l'azione di eventi estremi quali tempeste e sisma⁵¹.

Dal punto di vista strutturale il bambù, anche se poco conosciuto nel mondo occidentale, è talmente efficiente da poter essere considerato "l'acciaio naturale". Infatti, come detto precedentemente per il legno, il bambù ha un rapporto resistenza/peso simile a quello dell'acciaio, avendo una resistenza a trazione sorprendente, superiore a quella del legno, e a compressione vicina a quella del calcestruzzo. Resiste bene a torsione mentre solo lo sforzo di taglio presenta valori particolarmente bassi (circa l'8% di quello a trazione). La rottura dei culmi durante le prove di flessione è dovuta infatti alla scadente coesività delle fibre, dove il taglio gioca un ruolo fondamentale, arrivando a rottura in modo improvviso. Nel caso in cui i carichi accidentali (di breve durata) siano quelli prevalenti è possibile incrementare il carico massimo ammissibile del 25%, mentre in caso di vento del 50%. Il bambù può essere rinforzato con cemento, gettato all'interno dei culmi. In questo caso il bambù assorbirà le tensioni di trazione agenti sulla sezione, allo stesso modo dei ferri presenti nelle sezioni di cemento armato.

ISO/DIS 22156 (N/mm ²)		Compressione	Flessione	Taglio
Valori caratteristici		56	74	4,3
Tensioni ammissibili	permanente	12,4	16,4	1
	permanente+accidentali	15,6	20,6	1,2
	permanente+accidentali+vento	18,7	24,7	1,4

Tabella 10: valori caratteristici e tensioni ammissibili per le principali caratteristiche di *Gaudea angustifolia*.

(Fonte: Cardenas Laverde M., *Il Bambù come materiale da costruzione*, Sistemi editoriali, Napoli, 2008)

Quando si tratta di bambù, è necessario considerarlo come una vera e propria

⁵¹ Nel 1991 in occasione di un terremoto di magnitudo 7,5 che colpì la Costa Rica le case in bambù vicine all'epicentro sopravvissero all'evento, mentre abitazioni in calcestruzzo o in mattoni ebbero gravi danni.

sezione resistente. È infatti, a mio parere, poco utile reputarlo, al pari del legno, quale materiale per la produzione di elementi lamellari incollati o di pannelli truciolari. La sua forma tubolare, resistente e leggera, ne permette un utilizzo efficiente così come la natura l'ha creata. Il bambù può essere usato senza necessità di ulteriori lavorazioni, se non quella di taglio e di un adeguato trattamento protettivo.

A causa della sua sezione naturale, uno dei problemi fondamentali diventa come giuntare i montanti con le travi e travetti⁵². I giunti usualmente utilizzati in carpenteria lignea non sono adatti, mentre le connessioni chiodate causano spesso la spaccatura della sezione. Le varie parti vengono spesso giuntate a incastro fra loro, con l'utilizzo di legature di vario tipo, bulloni o spine di legno, o comunque attraverso sistemi progettati a hoc. Nel mondo occidentale, dove poche realizzazioni sono state effettuate, si sono privilegiate unioni meccaniche⁵³, di solito in acciaio, mentre in Oriente e in America Latina si effettuano giunti a incastro sagomando il culmo. Le possibili unioni realizzabili sono le seguenti⁵⁴:

- 1) giunto che coinvolge l'intera sezione: in questo caso il collegamento prevede un contatto fra l'intera sezione delle canne collegate tramite corde, giunti d'acciaio o malta. Nei primi due casi è importante valutare il possibile deterioramento degli elementi di raccordo, mentre nel terzo caso la malta non deve contenere acqua in eccesso al fine di evitare il ritiro, la fessurazione e la rottura delle canne collegate;
- 2) collegamento attraverso un elemento parallelo all'interno della canna: il trasferimento degli sforzi avviene attraverso un elemento posizionato parallelamente all'asse della canna ancorato al bambù con diversi materiali. In molti casi all'interno della canna viene riempito con malta in cui viene affogata una barra di acciaio o un elemento in legno. Questo tipo di collegamento dona al giunto maggiore resistenza (vedi pagina 193);

⁵² L'interasse più comune fra i travetti è di 40 cm.

⁵³ La resistenza a rifollamento del bambù è in relazione alla formazione di una fessura di splittaggio in corrispondenza del foro, aggirandosi al massimo intorno ai 10 KN.

⁵⁴ CasaClima, n.14, anno III, Settembre 2008, *Acciaio vegetale*, Quine Business Publisher.

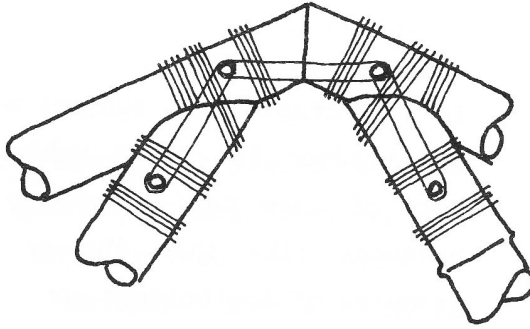


Illustrazione 40: Tipologia nodo 1.

- 3) collegamento dell'intera sezione trasversale attraverso un elemento parallelo: anche in questo caso gli sforzi passano direttamente dalla sezione della canna di bambù all'elemento esterno collegato parallelamente e unito con giunti di ferro o di legno;
- 4) collegamento dell'intera sezione trasversale a un elemento perpendicolare alla canna: più semplice da realizzare, questo tipo di collegamento consiste nell'inserimento trasversale di un elemento d'acciaio che funge sia da rinforzante che da giunto.

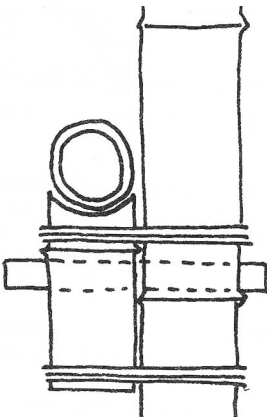


Illustrazione 41: tipologia nodo 3.

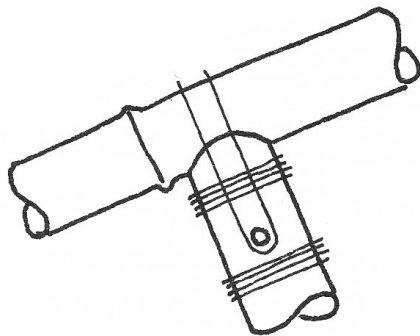


Illustrazione 42: tipologia nodo 4.

L'utilizzo del bambù per scopi strutturali, in Italia e in Europa, non si è sviluppato per una serie di ragioni. Il Bambù, essendo una pianta tipicamente tropicale, non cresce spontaneamente in Europa⁵⁵, obbligando l'importazione dai paesi asiatici e dell'America latina, incidendo in questo modo sulla competitività economica del materiale. I paesi produttori sono prevalentemente paesi in via di sviluppo, e questo complica la rispondenza delle produzioni a standard di qualità elevati, quali possono essere quelli europei. Infine, risulta rilevante il pregiudizio culturale su questo materiale, "esotico" e non considerato resistente e durevole, di pari passo con quanto ancora oggi si pensa del legno. Da qualche anno a livello internazionale si è cercato di normare questo materiale con la ISO/DIS 22516: «Bamboo structural Design e la ISO/DS 22157: Determination of physical and mechanical properties of bamboo», che stabiliscono dei protocolli particolareggiati e coefficienti di sicurezza elevati, considerando specie di bambù disponibili con scarse prestazioni, individuati dei parametri di calcolo con i relativi coefficienti di sicurezza, che suppliscono la mancanza di una normativa italiana in materia.

Il bambù, grazie alle sue caratteristiche, come la facilità di taglio con utensili comuni, è un materiale facilmente impiegabile in un cantiere in autocostruzione. Inoltre può essere anche utilizzato per la realizzazione di porte, finestre, pareti e coperture, se appiattito o tagliato. Le realizzazioni di strutture permanenti in bambù in Italia sono ancora poche, ma di particolare rilievo risulta essere la realizzazione di un padiglione a Vergiate (VA)⁵⁶, utilizzando elementi di bambù in una capriata di 10 metri di luce, a tutt'oggi l'unica struttura a uso pubblico in bambù (*Guada angustifolia*) costruita in Europa, nel corso di una serie di workshop learning-by-doing (vedi pagina 193).

55 Il bambù coltivato in Italia non raggiunge al momento dimensioni notevoli per usi strutturali, arrivando al massimo a diametri di 8-10 cm.

56 Gli elementi di bambù sono stati utilizzati per la realizzazione di una capriata di luce libera pari a 10 metri. Generalmente in questo tipo di strutture le dimensioni delle aste sono:

- per gli elementi orizzontali, superiori e inferiori: 100 mm – 80 mm (diametro esterno-interno);
- per elementi verticali e diagonali: 80 mm – 65 mm (diametro esterno-interno).

4.2.2.2 Strutture in elevazione a parete portante

In queste strutture la funzione portante è affidata a elementi verticali continui, le pareti. I carichi raccolti dai solai, che andranno ammorsati adeguatamente, vengono trasmessi direttamente o indirettamente alle pareti, che hanno il compito di scaricarli in fondazione. Come già detto a pagina 188, questo tipo di struttura portante continua necessita a sua volta di strutture di fondazione continue. La struttura è rigida nel piano di giacitura, e è assicurata nel piano ortogonale da pareti di taglio o da nuclei di controventamento. Gli elementi portanti continui possono formare le pareti perimetrali esterne oppure essere perpendicolari a queste, lasciando a un tamponamento non portante la funzione di chiusura.

Questa tipologia costruttiva ha da sempre caratterizzato l'edilizia, con costruzioni in laterizio o in pietra, in quanto permette di realizzare la parete a partire da piccoli elementi o blocchi, fungendo contemporaneamente da sostegno e da chiusura. Inoltre la scarsa conoscenza scientifica non permetteva in passato l'abbandono di spessori murari elevati, verso strutture puntiformi. La specializzazione fra struttura portante e portata, è una conquista relativamente recente, almeno nell'ambito dell'architettura tradizionale. I principali difetti di questa tecnologia, rispetto a un sistema a telaio, sono la lentezza costruttiva, la scarsa flessibilità degli spazi interni, e le ridotte dimensioni delle aperture che si possono realizzare, per non indebolire eccessivamente le pareti. Tuttavia la realizzazione di pareti portanti "pesanti" presenta ancora oggi certi vantaggi, fra cui un ottimo isolamento acustico, e un'elevata inerzia termica, fondamentale per un miglioramento del comfort estivo.

Come già detto, le strutture si ottengono dall'assemblaggio di elementi di piccole dimensioni (rispetto a quelle della parete che andranno a comporre) mediante l'interposizione di strati leganti o in semplice appoggio. Questo permette di rendere solidali elementi che singolarmente non sarebbero in grado di soddisfare i valori di resistenza richiesti. Realizzare strutture portanti secondo questa tipologia costruttiva può essere molto utile quando si ha a che fare con prodotti di rifiuto, quasi

esclusivamente di piccola dimensione e di scarsa resistenza, che grazie all'unione di vari elementi, e quindi all'aumento della sezione totale, possono trovare la forza necessaria per sopportare i carichi richiesti. In questo modo non è necessario realizzare il tamponamento di chiusura esterno in quanto la parete svolge, almeno in parte, questo compito. Nelle pagine seguenti saranno presentati sistemi ritenuti capaci di fare da struttura portante continua, già sperimentante da esperienze di autoconstruzione in varie parti del mondo.

Balloon frame

Le tecnologia a ossatura portante in legno ebbe in America un grande sviluppo durante il periodo della prima colonizzazione. Questa tecnologia venne esportata dagli emigranti europei nel Nuovo Mondo, dove i progettisti e i carpentieri americani raggiunsero, in breve tempo, elevati livelli di disegno e esecuzione. In realtà, un nuovo sistema costruttivo in legno si impose nella prima metà del XIX secolo, diventando in breve tempo, lo standard dell'espansione residenziale verso il Far West. I fattori che favorirono la nascita e il diffondersi di questa tecnologia furono:

- ampia disponibilità di materie prime, in particolare di legname;
- scarsità di manodopera, soprattutto carpentieri, nonostante il grande flusso migratorio, gli unici in grado di realizzare i difficili nodi a incastro delle strutture in legno;
- necessità di “fare presto” sia per ragioni funzionali (colonizzare nuovi territori con insediamenti stabili) che psicologiche;
- grande produzione industriale e distribuzione in tutto il territorio di chiodi a prezzi economici.

Il sistema a Balloon⁵⁷ frame, brevettato nel 1833 da George Washington Snow, rispose perfettamente a queste nuove istanze. L'economicità della struttura, la facilità

57 Il nome che gli fu attribuito dai contemporanei (e con il quale è tutt'oggi noto), è decisamente ironico e risente dello scetticismo con il quale il sistema fu inizialmente accolto.

e velocità di montaggio, lo rendevano adatto a essere portato avanti anche da una persona sola: i difficili incastri realizzati dai carpentieri non erano più necessari, portando alla perdita della necessità di manodopera specializzata. In pratica, esso si basa sulla costruzione di elementi intelaiati in legno, in cui a montanti disposti a breve interasse sono inchiodati rivestimenti strutturali piani o in tavole. I montanti sono continui per l'altezza di due piani, senza interrompersi al solaio intermedio, terminando alla base del tetto. Il Balloon frame non necessita di elementi di grande sezione e anche questo fu un elemento a favore della sua grande diffusione e economicità.

Il limite di 2 piani in altezza, caratteristica peculiare del sistema a Balloon frame, fu superato con una sua evoluzione. Nacque così il Platform frame, che è ancora oggi, proprio per le sue migliorate caratteristiche, il sistema costruttivo più largamente usato per l'edilizia residenziale nel continente Nord americano.

Platform frame

La vera potenzialità di questo sistema rispetto al Balloon frame, soprattutto in un'ottica di autocostruzione, risiede nel fatto che, data l'altezza dei montanti pari a quella di un piano, le pareti, complete di rivestimento strutturale, possono essere facilmente assemblate a terra per parti per poi essere erette, senza l'ausilio di particolari mezzi di sollevamento, eliminando la necessità di ponteggi. La struttura del solaio, indipendente della struttura portante verticale, diventa una piattaforma, da cui il sistema prende il nome, su cui le pareti degli altri piani e i tramezzi interni possono essere costruiti senza particolari difficoltà (ogni piano viene quindi costruito autonomamente, superando i limiti di altezza di due piani delle costruzioni a Balloon frame).

Una volta creato il cordolo di fondazione continuo (vedi pagina 194) si procede con le parti in elevazione della struttura portante. Per prima cosa si appoggia sopra al cordolo, il cosiddetto corrente di fondazione, ossia un asse di legno che servirà da

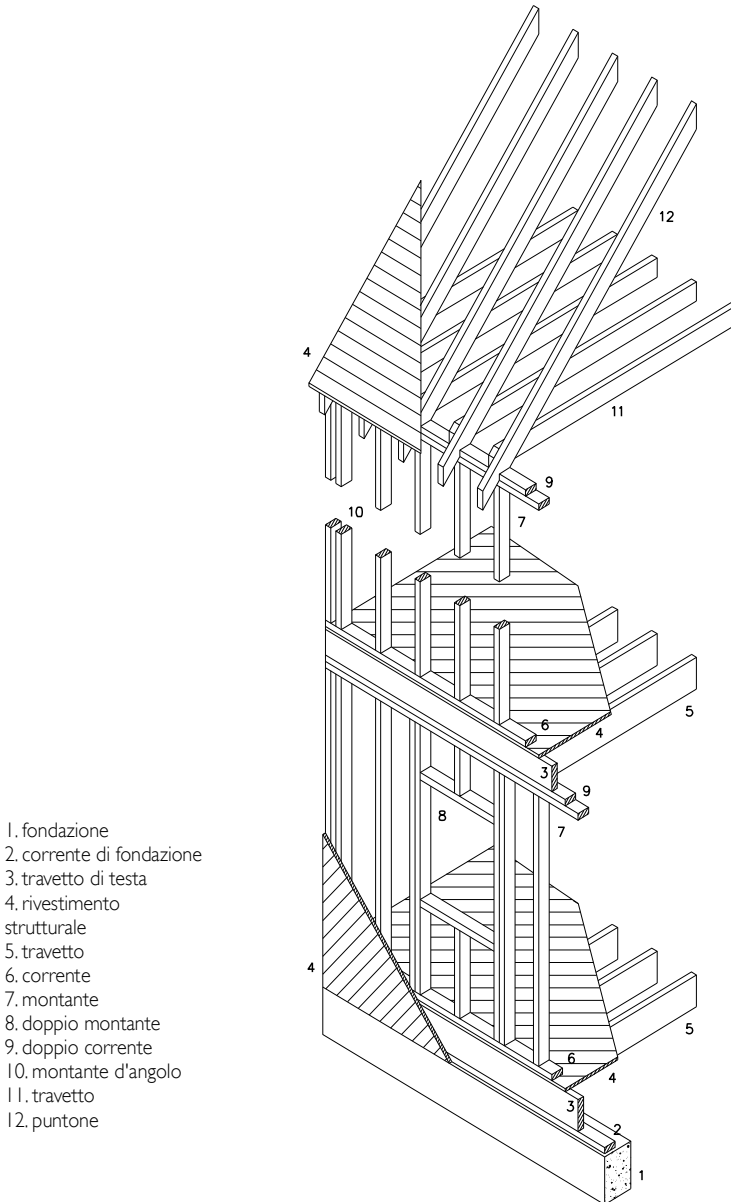


Illustrazione 43: sistema costruttivo Platform frame.

supporto al primo solaio. La larghezza del corrente non dipende dai carichi che graveranno sull'edificio e di solito ha sezione pari a 38 mm x 184 mm⁵⁸. Fra corrente e fondazione viene interposto uno strato impermeabilizzante. La faccia esterna del corrente è in linea con il bordo esterno della fondazione in modo tale che il rivestimento esterno della parete possa oltrepassare inferiormente il piano di spiccato. Se la fondazione è piana e liscia il corrente poggia direttamente su di essa o sopra uno strato di lana minerale, altrimenti è necessaria la creazione di un letto di malta livellante. L'ancoraggio strutturale fra corrente e fondazione è affidato a bulloni con un'estremità curva annegata nel cordolo in c.a..

Successivamente si procede alla realizzazione del primo solaio a terra. Ogni travetto del solaio viene inchiodato obliquamente⁵⁹ al corrente di fondazione, e di testa a un travetto che chiude il solaio su lati esterni. I travetti hanno generalmente uno spessore di 38 mm ed una altezza variabile di 140, 184, 235, 286 mm. L'interasse degli stessi può variare fra 30 cm e 40 cm, con una lunghezza fra 240 e 300 cm, a seconda delle necessità statiche. Il modo più semplice di effettuare una connessione trave-travetto è quella di sovrapporre il travetto alla trave. Quando si volesse creare una connessione in spessore trave è possibile utilizzare delle mensole lignee, formate da listelli inchiodati alla trave, a cui i travetti di appoggiano. È possibile utilizzare i moderni sistemi di fissaggio quali scarpe o squadrette metalliche di connessione, facendo in modo che l'estradosso degli elementi sia allo stesso livello. I travetti possono essere controventati con elementi in legno o metallo, diagonali o orizzontali. All'interno dell'edificio sono necessarie altre strutture portanti verticali per reggere i solai, che generalmente non coprono la luce fra una parete perimetrale e l'altra. I pilastri possono essere assemblati a partire da elementi di 38 mm di spessore inchiodati fra di loro, così come le travi.

Il materiale di rivestimento strutturale per solai maggiormente utilizzato per la sua resistenza agli urti e alla rapidità di messa in opera, è il compensato. La direzione della

58 Usualmente nel sistema platform, tutti gli elementi lignei hanno uno spessore unificato di 38 mm.

59 Nelle giunzioni chiodate diagonalmente l'angolo con fra l'elemento verticale il chiodo deve essere circa pari a 30°.

fibratura dello strato superficiale è posizionata ortogonalmente rispetto alla direzione dei travetti. Rendendo solidali i travetti al compensato attraverso unioni meccaniche o con colle elastomeriche si può realizzare un solaio collaborante, incrementandone notevolmente la resistenza e la rigidezza complessiva (vedi pagina 224). Oltre a pannelli di compensato, possono essere utilizzate anche tavole (sia ortogonali che oblique rispetto alla giacitura dei travetti) pannelli in truciolato, o a base di legno.

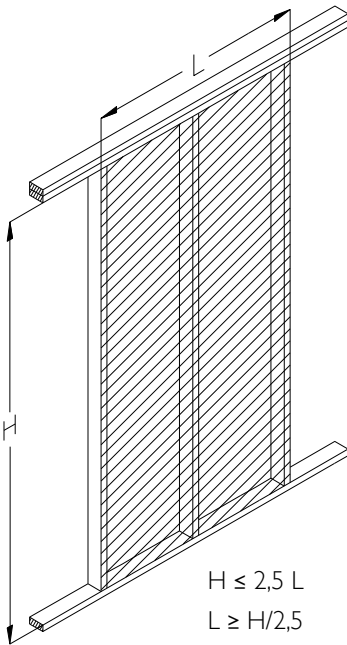


Illustrazione 44: parete portante.

Una volta realizzato il solaio di terra, completo di rivestimento strutturale, il cui insieme forma la nostra *platform* da cui continuare la costruzione, al di sopra di questo si andranno a assemblare le pareti portanti, sia esterne che interne. I montanti hanno generalmente sezione di 38x89 mm, sono disposti con il lato maggiore ortogonale alla parete e hanno comunemente un interasse di 40 cm (variabile fra 30 e 60 cm). Un vincolo dimensionale riguarda l'altezza della parete, che non può essere maggiore di 2,5 volte la larghezza di due moduli (vedi figura a lato)⁶⁰. I montanti sono inchiodati obliquamente a un corrente inferiore e uno superiore della stessa larghezza. In corrispondenza delle aperture (porte, finestre o altro) sono presenti

elementi orizzontali che fungono da architrave scaricando i carichi sui montanti adiacenti, doppi in questo caso. La parete viene assemblata a terra, sollevata e posizionata. Il corrente inferiore viene inchiodato al rivestimento strutturale del solaio, vengono messe a piombo le pareti, e inchiodate fra di loro negli angoli e nelle intersezioni. Viene poi sovrapposto al primo corrente superiore un secondo (doppio

⁶⁰ Fonte: American Wood Council, *Wood Frame Construction Manual*, 2001.

corrente), avendo cura di posizionarlo in modo da avere i giunti sfalsati con quello sottostante, contribuendo così alla solidità della struttura e alla distribuzione uniforme dei carichi concentrati. Il corrente superiore e inferiore fungono anche da elementi taglia-fuoco, non richiedendo l'aggiunta di elementi a hoc. Le pareti interne portanti e non, vengono assemblate nel medesimo modo di quelle perimetrali. In una parete non portante dove siano presenti aperture (porte) non vi è la necessità di raddoppio del montante corrispondente. Agli angoli esterni e alle intersezioni tra le pareti sono generalmente impiegati più montanti (almeno tre), per assicurare un buon collegamento fra le pareti adiacenti e per provvedere un supporto per l'inchiodatura del rivestimento strutturale. Per realizzare una parete atta all'alloggiamento dei tubi di scarico dei servizi igienici si utilizzano correnti più larghi, per realizzare un intercapedine di almeno 140 mm, in cui vengono inseriti dei materassini fonoassorbenti per migliorarne l'isolamento acustico.

Il rivestimento strutturale viene applicato direttamente alla struttura dei montanti, e farà da supporto per lo strato di rifinitura esterno. Il rivestimento strutturale può essere composto da tavole di legno disposte orizzontalmente o inclinate a 45° (per conferire alla struttura maggiore rigidità), pannelli di fibre, compensati per esterni, pannelli di truciolato. In questo modo le pareti così realizzate sono in grado di resistere a forze orizzontali, realizzando così pareti di taglio, con comportamento a lastra.

Una volta terminata la parete del piano terra si procede all'assemblaggio del solaio del piano primo. Ogni travetto è inchiodato di testa o obliquamente a un travetto di testata oltre che al corrente superiore che collega i montanti sottostanti. I controventi diagonali vengono fissati definitivamente solo a edificio ultimato, per permettere ai travetti di acquistare la deformazione permanenti sotto peso proprio e carichi permanenti. Se esiste la necessità di un oggetto i travetti del solaio possono continuare oltre il limite della parete. Terminato il solaio si procede come prima alla realizzazione della parete del piano interessato e si ripete il procedimento fino ad arrivare alla copertura.

La struttura di copertura di un tetto piano non si differenzia quella di un solaio normale, se non per la pendenza necessaria allo smaltimento delle acque meteoriche, che può essere realizzata in diversi modi, come quello di sovrapporre ai travetti elementi inclinati. Le coperture piane vengono impermeabilizzate con la sovrapposizione di strati idonei allo scopo, ricoperti di ghiaia. Il bordo di contenimento è rifinito con una copertina metallica. Nelle coperture a falda i travetti piani formano una specie di sottotetto, creando un supporto per il rivestimento interno, collegano fra di loro le pareti opposte dove si appoggiano. A volte acquistano anche funzione portante in quanto sopra di essi vengono realizzati dei supporti rompi-tratta per i puntoni. Quest'ultimi sono tagliati all'estremità verso la gronda in modo tale da incastrarsi sui correnti superiori delle strutture perimetrali, dove vengono anche inchiodati obliquamente. Se sono presenti i travetti di sottotetto allora questi si agganciano a un corrente applicato sopra i travetti stessi. Fra i travetti come sostegno per l'isolamento e come supporto per il rivestimento interno vengono inchiodati dei blocchi (pezzi di asse). Questi non sono alti come i travetti per permettere la realizzazione di un intercapedine d'aria ventilata. Sulla linea di colmo, i puntoni si incontrano uno di fronte all'altro quando i travetti si incontrano di testa sulla parete portante; quando invece i travetti del solaio si sovrappongono sulla parete portante interna, i puntoni si incontrano al colmo sfalsati del loro spessore. Le capriate sono più resistenti eliminando la necessità di rompitratta e sono di solito più veloci da montare e vengono tenute a un interasse pari a 60 cm. In ogni caso il tetto andrà progettato ad hoc a seconda dello sviluppo in pianta dell'edificio, dei requisiti tecnologici da soddisfare e delle valenze formali. Prolungando i puntoni della copertura oltre la parete si possono realizzare degli aggetti⁶¹ che forniscono un'ulteriore protezione alla parete dagli agenti atmosferici. Il rivestimento strutturale della copertura è realizzato, come per i solai, con tavole, pannelli di compensato (disposti con la fibratura esterna ortogonale alla giacitura dei puntoni) o di truciolato.

61 L'aggetto dei travetti del tetto dall'asse della parete esterna può essere al massimo pari a 60 cm e comunque minore di 1/3 della distanza orizzontale fra gronda e colmo.

Questo rivestimento assolve la funzione di supporto per il manto di copertura e come tutti i rivestimenti strutturali trattati, controventa la struttura.

Nel sistema Platform fra il rivestimento strutturale e quello esterno viene applicato un foglio di carta Kraft, materiale resistente e traspirante, impiegato come guaina antivento ed antipolvere, e per fornire un ulteriore, seppur debole, protezione alla pioggia, avendo cura di sovrapporre i giunti fra i vari foglio per avere una tenuta omogenea. Il rivestimento esterno è realizzato con tavole di legno disposte in orizzontale o in verticale inchiodate allo strato sottostante o ai montanti, con scandole segate, o con intonaco applicato direttamente sopra la carta Kraft interponendo una rete porta-intonaco, o con un paramento in muratura.

Papercrete

Il papercrete è un materiale costruttivo derivato da un impasto di carta o cartone da macero, sabbia e cemento Portland. Il nome deriva infatti da *paper* (carta in inglese) e dalla contrazione della parola *concrete* (cemento). È stato riscoperto negli anni passati da delle comunità di autocostruttori americani che l'hanno utilizzato per la costruzione delle loro abitazioni. A produzione ultimata si ottiene un materiale leggero e isolante (con una resistenza termica $R=0,8 \text{ m}^2\text{K/W}$ per centimetro di spessore) in quanto l'evaporazione dell'acqua in esso contenuta, durante il processo di essiccamento, determina la formazione di celle d'aria all'intero delle fibre, pari a fino l'80% dell'intero volume. Tranne il cemento, che deve essere comprato, la carta può essere recuperata ovunque e gratuitamente, riuscendo a ottenere un processo di riuso a basso impatto ambientale. Il maggior difetto del papercrete è la scarsa resistenza sia al fuoco che all'acqua, che impongono quindi un'adeguata protezione. Il processo produttivo, semplice e realizzabile in autocostruzione, è il seguente:

- la carta recuperata, ridotta in parti più piccole meccanicamente⁶² o

⁶² In realtà, con un po' di fortuna, è possibile trovare carta già tranciata, intercettando i rifiuti cartacei di uffici, che sempre di più utilizzano l'inutile quanto energivoro *tritadocumenti*.

manualmente, viene mescolata con acqua e lasciata macerare per almeno 3 giorni. La carta a bassa densità (cartone, quotidiani, brochure, ecc.) è preferibile rispetto alla carta politenata degli imballaggi, dei cataloghi e delle riviste, le quali contengono sostanze difficilmente solubili in acqua. Passati i 3 giorni, lasciandola immersa nell'acqua, è necessario triturlarla, fino a formare un composto abbastanza liquido e uniforme. Per fare questo è necessario fare uso di un frullatore meccanico dotato di lame rotanti, con potenza sufficiente per lacerare le fibre di carta più resistenti. Questo macchinario dovrà essere presumibilmente autocostruito, riutilizzando motori elettrici o a scoppio adattati per l'occasione. La percentuale di carta nel composto finale può variare dal 50% all'80%.

- Prima di passare al “mixeraggio”, è consigliabile effettuare una fase di filtraggio dell'acqua in eccesso, con una rete a maglie larghe (max 1 cm). Questo permetterà una più rapida asciugatura, ottenendo così un composto più denso. Inoltre si aumenterà la resistenza del materiale, diminuendo però la sua capacità isolante.
- Successivamente si passa alla fase di miscelazione della pasta di carta con cemento, anche grazie all'uso di una normale betoniera a bicchiere. La miscela tipica più usata è quella che utilizza il rapporto carta-cemento pari a 1:1. Non utilizzando sabbia o argilla nell'impasto il prodotto sarà più leggero e asciugherà prima, ma tenderà a ritirarsi mostrando fessurazioni. Riassumendo, si prevede che per ogni sacco di cemento da 25 kg ci siano: 30 kg di carta, 10 kg di sabbia, il tutto immerso in 600 litri d'acqua. Uno dei vantaggi nell'utilizzo di questo materiale è quello di non avere la preoccupazione della quantità di acqua da aggiungere alla miscela; se infatti con la malta classica una quantità d'acqua maggiore o minore ne comprometterebbe il risultato, nel caso del papercrete il cemento viene assorbito dalle fibre di carta, assicurandone una omogenea distribuzione, e ogni eccesso di acqua evapora o viene filtrato nel periodo di maturazione.

- Il papercrete può essere usato in molti modi: in blocchi, in pannelli, colato, spruzzato o applicato come intonaco. L'impasto ottenuto può essere foggiato nella forma desiderata e lasciato essiccare per la realizzazione di blocchi, o gettato direttamente in casseformi a formare pareti complete. Quest'ultimo metodo è più veloce ma presenta particolari problemi dovuti ai tempi di essiccamento molto lunghi e a una possibile non omogeneità dell'impasto. Le dimensioni dei blocchi sono di solito 60 cm di lunghezza, 30 cm di larghezza e 15 cm in altezza, ma possono essere scelte liberamente altre misure.



Illustrazione 45: realizzazione di un'apertura in una parete di blocchi in papercrete.

Per migliorare la sostenibilità ambientale di questo materiale, si sta sperimentando una miscela che utilizza al posto del cemento, ritenuto troppo inquinante, materiali più naturali come l'argilla e la calce. Solitamente l'impasto si compone di carta, corteccia, canapa, segatura e paglia, aggiungendo calce e argilla; questi ultimi due materiali reagendo chimicamente, svolgono nell'impasto la funzione di legante. Con la calce idratata poi si può ottenere un controllo supplementare dell'umidità. È stato verificato⁶³ che aggregati differenti alla sabbia, come paglia,

fibre di vetro o segatura, non modificano in modo evidente il comportamento meccanico del materiale.

Dal punto di vista strutturale, le caratteristiche sono determinate dalla percentuale di

⁶³ Tesi di laurea, 2005/06, Galbiati F.M., Laterza L., Papercrete e oltre: studio di un blocco in carta riciclata e cemento a prestazioni migliorate, Rel.: Rogora A., Correl. Felicetti R., Parecchini N., Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura.

cemento presente nella miscela e dal tipo di carta (fibre lunghe possono migliorare il comportamento a trazione). Il papercrete testato staticamente⁶⁴ ha dimostrato valori di resistenza a compressione generalmente bassi (al di sotto di 5 kg/cm^2), molto inferiori rispetto a quelli dichiarati dai produttori di papercrete americani, pari a 20 kg/cm^2 . Anche con questi valori di resistenza, il papercrete è adatto alla costruzione di edifici monopiano in muratura portante di 40 cm, con luce agli appoggi di 4,5 m, riuscendo a soddisfare i requisiti di sicurezza statica richiesti dalla normativa vigente. Il blocco testato con maggiore resistenza è stato quello a composto da carta:sabbia:cemento nei rapporti 1:0,2:1. La possibilità di utilizzare una quantità minore di cemento permette perciò di ottenere un materiale più economico e sostenibile. La leggerezza e la grande deformabilità del papercrete (Modulo elastico $E \approx 13 \text{ MPa}$) lo rendono inoltre un ottimo materiale da utilizzare in zona sismica.

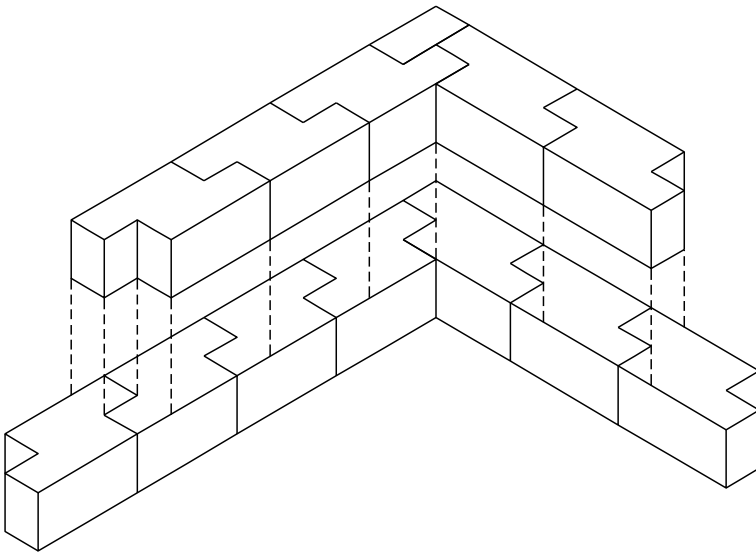


Illustrazione 46: blocchi in papercrete, giuntabili a incastro⁶⁴. Dimensioni 80 cm x 40 cm x 30 cm.

⁶⁴ Tesi di laurea, 2004/05, Parecchini N., Zapparoli G., *Costruire con la carta: sperimentazione di un conglomerato in carta riciclata*, Rel. Rogora A., Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura.

Per la realizzazione di una parete portante l'uso di blocchi in papercrete è il metodo più utilizzato. La malta usata fra i blocchi è anch'essa in papercrete. Così come per tutte le opere in muratura è necessario garantire il comportamento a scatola dell'edificio e la resistenza alle spinte orizzontali tramite adeguati sistemi come la connessione fra i vari blocchi attraverso armature in acciaio. La realizzazione di aperture nella muratura, come di intercapedini per impianti tecnici, possono essere realizzate a montaggio ultimato, eseguendo facilmente dei tagli all'interno di essa. Progettando specificamente un blocco da impiegare a secco, attraverso un sistema a incastro, è possibile velocizzare le operazioni di costruzione. Per la produzione e messa in opera di elementi in papercrete è possibile l'utilizzo di casseri a perdere in materiali riciclati o di recupero che possano così rendere agevole una maturazione in opera, diminuendo i tempi e quindi i costi di cantiere. Si andrà quindi a utilizzare delle specie di maniche in cui versare il papercrete, come in un insaccato. Questi "salami" di papercrete andranno conseguentemente sovrapposti in orizzontale fino a formare le pareti desiderate. Se i budelli, di larghezza pari a 25 cm e lunghezza 120 cm, vengono realizzati con delle reti di polimesh (o con dei sacchi in fibra di juta o cotone), il processo di asciugatura sarà più efficace e inoltre, grazie alla posa allo stato fresco del papercrete, i diversi elementi si uniranno, realizzando così, una volta asciutti, un elemento monolitico. La stesura di un filo spinato fra i corsi garantirà una sorta di armatura interna migliorando la stabilità d'insieme.

L'esperienza insegna che il papercrete è particolarmente adatto nelle aree geografiche con alte temperature e bassa umidità, in quanto è possibile ottenere tempi di asciugatura inferiori e proteggerlo dall'acqua, che ne annulla in parte le proprietà. Il clima italiano ha un umidità generalmente elevata e è proprio questa una delle principali limitazioni dello sviluppo del papercrete come materiale da costruzione. Si consiglia dunque di effettuare la sua produzione durante il periodo estivo, disponendo in questo modo di temperatura più elevate.

Il papercrete, può essere prodotto con l'utilizzo di pochi attrezzi e è facilmente utilizzabile dalle donne, dalle persone più anziane e dai costruttori occasionali.

Tubi di cartone

«Nel mio primo lavoro, il progetto per l'installazione della mostra di Emilio Ambasz, avevo utilizzato degli schermi in tessuto come elementi divisorii. Il tessuto veniva consegnato in rotoli avvolti in fusti cilindrici di cartone. Pensavo che fosse uno spreco buttarli via e chiedendomi che uso se ne sarebbe potuto fare, ne portai molti nel mio studio. Più tardi, quando stavo disegnando l'installazione della mostra di Alvar Aalto, avevo il problema di definire uno spazio che suggerisse il senso dell'opera di Aalto, ma non avevo i finanziamenti sufficienti per concedermi il lusso di usare il legno; inoltre, ogni elemento in legno usato per il momento sarebbe stato buttato via tre settimane dopo, alla chiusura della mostra, il che mi sembrava un autentico spreco. Allora mi misi a pensare a un'alternativa al legno e mi venne in mente di usare i tubi di cartone marrone chiaro che erano ancora nel mio studio.»

- Shigeru Ban -

A prima vista, il cartone⁶⁵ non sembrerebbe un materiale adatto per scopi strutturali. Troppo poco resistente e molto degradabile. In realtà c'è chi ne ha fatto un elemento fondamentale della sua architettura, come Shigeru Ban. L'architetto giapponese utilizza nelle sue opere tubi di cartone "giganti", affiancati linearmente uno all'altro secondo sviluppi organici, come elementi strutturali portanti. Come descrive egli stesso, l'idea di utilizzare questi tubi gli è venuta quasi per caso, rifiutandosi di buttarli e pensando a un loro possibile impiego. Ban è riuscito a creare spazi di elevata qualità architettonica, senza ricorrere all'utilizzo di nuove tecnologie o nuovi materiali ma inventando l'uso di un materiale povero e di elementi di scarto, reinterpretando la cultura giapponese del bambù e della carta.

L'installazione per la mostra di Alvar Aalto a Tokyo (1986) fu la prima volta in cui Ban

65 Il cartone è un materiale cartaceo particolarmente spesso e pesante. Il confine tra carta e cartone è convenzionalmente posto a 224 g/m² con uno spessore di almeno 175 µm. Le sue origini risalgono alla Cina del XV secolo, mentre nel 1817 in Inghilterra furono vendute le prime scatole di cartone commerciali.

usò i tubi di cartone. L'obiettivo da raggiungere era quello di rispettare il budget limitato e al tempo stesso trasmettere l'atmosfera tipica dell'architettura di Aalto, e dell'architettura scandinava in genere, un compito apparentemente impossibile senza utilizzare il legno. Fu così che il cartone più economico e disponibile prese il posto del legno in quel progetto e in molti altri. Per ottenere l'approvazione da parte del Ministero delle costruzioni giapponese, i tubi dovettero essere testati (l'autorizzazione arrivò nel 1993) in occasione della costruzione della sua *Paper House*.

Fra i progetti di Shigeru Ban, quello che più si avvicina all'argomento portato avanti in questa tesi è la *Paper Log House* (1995, Nagata, Hyogo). Nel giugno del 1994 un forte terremoto colpì il Giappone, lasciando molte famiglie senza casa. I terremotati di Kobe, dopo alcuni mesi vivevano ancora in tende che si erano costruiti subito dopo il disastro. Ban decise allora di progettare una dimora d'emergenza. La casa doveva essere poco costosa e doveva poter essere costruita da chiunque. Si richiedevano qualità isolanti e ovviamente un aspetto estetico accettabile. Ban rispose come al solito, con elementi semplici e efficaci in grado di soddisfare i requisiti richiesti: usò delle cassette di birra di plastica, donate da un produttore della zona, riempite di sacchi di sabbia per le fondazioni, tubi di cartone di 108 mm di diametro e 4 mm di spessore per le pareti e per il tetto un doppio tendaggio. Per migliorare l'isolamento fra i tubi furono poste delle spugne resistenti all'acqua, fissate con nastri adesivi. La controventatura della costruzione è realizzata tramite corde. Le case di 52 m², costruite a secco, potevano essere facilmente trasportate o riciclate dopo l'uso, e vennero a costare meno di 2.000 dollari l'una. Inoltre tutto ciò ha impedito il taglio indiscriminato di alberi da parte dei rifugiati, per potersi costruire un'abitazione adeguata, evitando danni all'ambiente. Ban sperimentò questa soluzione in altre occasioni, come in Turchia (2000) e India (2001).

L'esperienza di Shigeru Ban può essere riproposta recuperando il materiale di base. I tubi di cartone sono di solito utilizzati per arrotolare bobine di tessuto o di carta, e a questi settori a cui bisogna far riferimento per poterli recuperare. La difficoltà

principale è riuscire a reperire elementi di lunghezza pari a almeno 3 metri⁶⁶, il minimo per realizzare un edificio monopiano. Gli elementi andranno affiancati per realizzare pareti portanti, anche non necessariamente rettilinee. Questa parete dovrà poi essere resa resistente all'aria, o sigillando i giunti fra i tubi, o applicando una barriera plastica impermeabile. Per quanto riguarda i giunti fra elementi non complanari, che l'architetto giapponese risolve spesso attraverso elemento in legno o in acciaio imbullonati, è possibile considerare quante detto per unire i culmi di bambù (pagina 243) o le sezioni circolari in legno (pagina 215).

Dal punto di vista strutturale, i test statici condotti su tubi di cartone hanno provato che il modulo di Young è di circa 1.000 N/mm^2 , con un carico di circa 8 MPa. Tuttavia, il materiale è molto sensibile al contenuto di umidità. Il comportamento è inizialmente di tipo elastico, ma se sottoposto a un carico permanente pari al 20% del carico di rottura intervengono fenomeni viscosi. In occasione della costruzione del padiglione di Hannover, progettato da Shigeru Ban, si è scelto di utilizzare un coefficiente di sicurezza molto alto, pari a 5, per limitare gli effetti dovuti alla deformazioni. Le caratteristiche di resistenza e di deformazione non si modificano fino a un contenuto di umidità del 7%⁶⁷, per poi ridursi del 10% per ciascun incremento unitario dell'umidità contenuta. Gli elementi in cartone andranno perciò protetti con una barriera al vapore. Trattamenti tradizionali suggeriscono il bianco d'uovo come cappotto impermeabilizzate, anche se la durabilità è da verificare. A ogni modo, il cartone deve essere adeguatamente riparato dalle intemperie e comunque trattato per resistere al fuoco.

Può essere risultare interessante la possibilità di riempire i tubi con materiale isolante recuperato, per aumentarne le prestazioni termiche, o di utilizzare queste intercapedini per il passaggio di impianti tecnici.

66 Shigeru Ban utilizza elementi che superano a volte gli 8 metri, prodotti appositamente.

67 Il tasso che va dal 7% al 10% è in equilibrio con l'umidità ambiente tipica del 30%-70%.

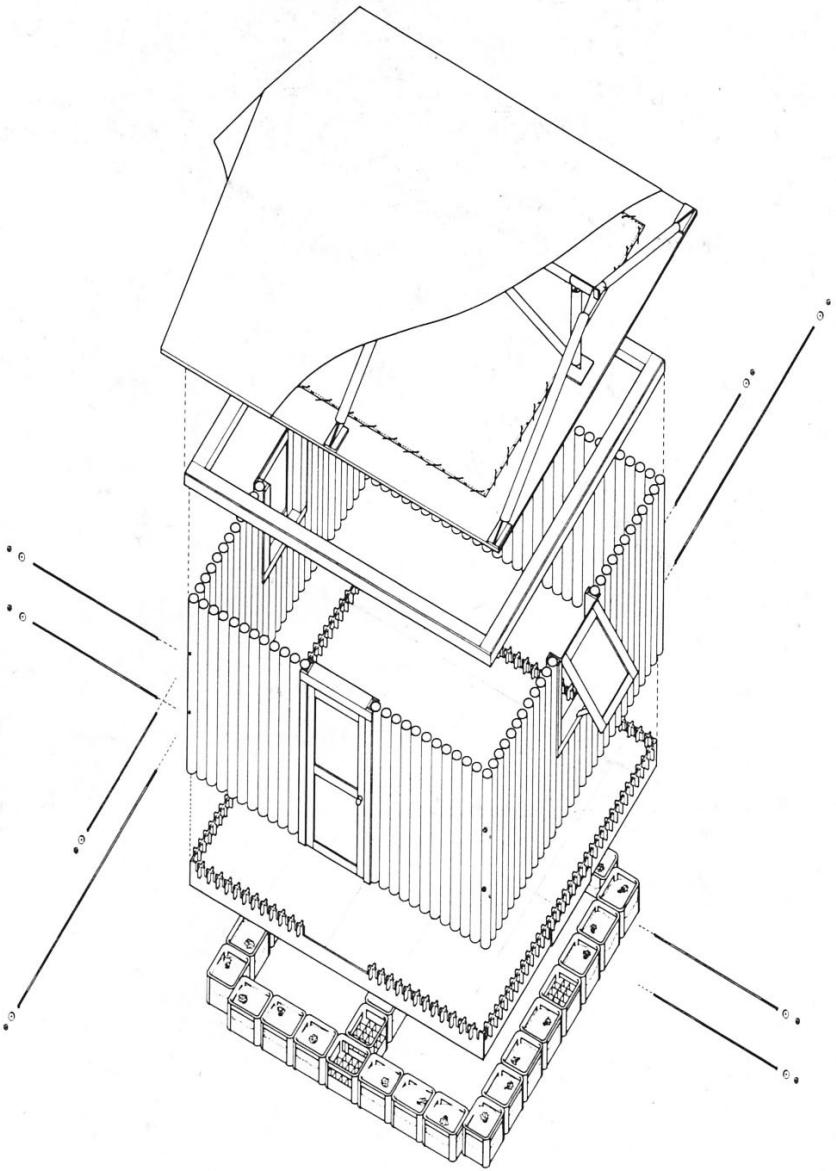


Illustrazione 47: esploso assometrico, Paper Log House.

Copertoni



Illustrazione 48: copertoni e terra.
(nella foto l'architetto Mike Reynolds)

I copertoni usati sono un altro elemento di scarto della nostra società. Nella sola Unione Europea vengono sostituiti ogni anno 220 milioni di pneumatici. In realtà la gomma di cui sono composti i pneumatici è facilmente riciclabile. Da essa si possono ricavare altri copertoni oppure può essere impiegata per diversi scopi, come la realizzazione di materassini acustici per solai. Quelli considerati irrecuperabili, non potendo finire in una normale discarica in quanto potenzialmente pericolosi per l'ambiente, vengono inceneriti.

Come più volte ricordato, poter riusare questi elementi, attraverso un

secondo uso, garantirebbe una pratica molto più sostenibile rispetto al riciclo, in quanto a emissioni zero. Anche la sola ricostruzione del battistrada richiede un elevato quantitativo di energia, soprattutto calore, necessario per riportare la gomma al punto di rammollimento, o di fusione, per la sua successiva lavorazione.

In realtà questo elemento è già riutilizzato in diversi modi. Come elemento a protezione delle piste automobilistiche, o come galleggiante agganciato ai lati delle barche. Tutto noi lo conosciamo come supporto per l'altalena, meno conosciuto invece è l'utilizzo della gomma, consumata nei suoi rilievi ma ancora indistruttibile, per la realizzazione di sandali, come avviene nei paesi poveri.

In ambito edilizio può essere riusato attingendo ispirazione da una tecnica antica, ancora usata nei paesi dove persistono le tecnologie della casa in terra. Il *pisé* (dal francese, schiacciato) consiste nel costruire cassoni lignei entro i quali viene compressa l'argilla umida. Una volta tolte le casseforme resta un grande blocco che seccando, indurisce. La costruzione procede per blocchi e ogni blocco viene pestato manualmente con l'aiuto di mazze. Uno dei pregi di realizzare le pareti dell'edificio in questo modo, è la grande inerzia termica che la terra battuta può fornire al mantenimento del comfort all'interno dell'edificio. Purtroppo vi è da considerare una scarsa resistenza all'acqua, che disgrega facilmente l'argilla, e infatti il primo strato a contatto con il terreno, veniva in passato realizzato in pietra, a protezione dall'umidità. È proprio in questo caso che l'utilizzo di copertoni come casseforme a perdere, dimostra la sua grande utilità. Sovrapponendo verticalmente diversi pneumatici, sfalsati in orizzontale, e battendo di volta in volta la terra inserita al loro interno, è possibile ottenere una parete massiva resistente alle intemperie. In senso verticale è possibile inserire degli elementi di collegamento fra i pneumatici, come barre d'acciaio, atti a migliorare il comportamento globale della parete stessa. L'immagine esteriore può essere resa più accettabile attraverso una intonacatura.

Si è così tornati all'utilizzo di una tecnica antica, utilizzando materiali di recupero e riuscendo a garantire un involucro a massa, difficilmente ottenibile in ambito di costruzioni composte da rifiuti.



Illustrazione 49: Rural Studio, Cappella di Yancey, Sawyerville, Hale County, Alabama.

4.2.2.3 Strutture portanti spaziali

«Leggerezza, resistenza e un limitato uso di materiali sfruttando l'intelligenza della forma prima che la forza della tecnologia.»

- Alessandro Rogora -

Le strutture in elevazione spaziali sono costituite da elementi che si sviluppano nelle tre dimensioni nello spazio, e generalmente fanno della loro forma il loro punto di forza. È possibile ricondurre a questa particolare tipologia le seguenti strutture:

- le strutture a superficie curva;
- le strutture spaziali reticolari;
- le tensostrutture.

La loro peculiarità è la capacità di coprire grandi luci con un limitato uso di materiale, e conseguentemente un ridotto peso d'insieme. Data la forma particolare e la facilità di esecuzione, esse vengono utilizzate soprattutto per strutture espositive o temporanee, ma ciò non toglie la possibilità di uno sviluppo in ambito residenziale.



Illustrazione 50: residenza realizzata a partire da una struttura spaziale geometrica.

Strutture a superficie curva

Le strutture a superficie curva continua, dette a volta sottile, sono formate da superfici curve di spessore sottile in grado di delimitare un volume al proprio interno. In natura è possibile trovare facilmente strutture di questo tipo: il guscio di un uovo o di una noce, le conchiglie, il carapace delle tartarughe e via dicendo, sono tutti esempi di massima resistenza con il minimo impiego di materiale. Queste strutture vengono definite "resistenti per forma" in quanto non è tanto il materiale ma la loro geometria a conferire grandi doti di resistenza meccanica con piccoli spessori. Avendo una sezione così esigua, lo sviluppo di elevate sollecitazioni flessionali non è permesso, e infatti queste strutture resistono per la formazione di sforzi di trazione e compressione in grado di trasferire i carichi applicati in fondazione. Particolare attenzione deve essere posta nell'assorbimento di sforzi di trazione presenti all'imposta delle cupole che devono essere assorbite da anelli tesi realizzati in materiale adatto. Sono generalmente usate come coperture di grandi luci e possono arrivare a avere rapporti luce/spessore anche pari a 500. Tipicamente per queste strutture viene utilizzato il cemento armato. Per quanto riguarda l'utilizzo di materiale di recupero, esso può essere sostituito dal papercrete per strutture di dimensioni ridotta o per la realizzazione di blocchi per la costruzione di cupole⁶⁸. Le sue costruzioni a cupola dimostrano tutte le potenzialità del papercrete: la leggerezza, la resistenza, le proprietà isolanti e la facilità di utilizzo in opera. Il procedimento utilizzato per la costruzione è relativamente semplice: si comincia legando una corda a un'ancora fissata al terreno, nel punto centrale della cupola che deve essere realizzata. Si tira poi la corda tendendola e si fa un nodo nel punto che rappresenta il raggio della cupola che si desidera realizzare. Con la corda sempre tesa quel nodo può essere mosso in qualsiasi direzione per definire archi orizzontali e verticali. Per costruire la cupola, la corda è sempre mantenuta tesa e ogni blocco in papercrete è posizionato in modo che il nodo possa toccarne la superficie interna. In

68 In questo campo sono celebri le esperienze di Sean Sand in Texas.

ogni corso, il nodo e l'angolo della corda determinano la posizione interna e l'inclinazione dei blocchi. Questa procedura è seguita dalla base fino alla cima della cupola. Ogni strato di blocchi è autoportante in quanto ogni elemento spinge sull'altro. Questo rende possibile la costruzione senza alcun bisogno di centine o appoggi interni.

Il Gruppo Cliosstraat ha realizzato a Genova nel 1998 un igloo costruito da bottiglie di plastica. Collocato nella stazione di Brignole, l'igloo era una piccola architettura multifunzionale in servizio 24 ore al giorno: dalla mattina alla sera era una biglietteria, mentre di notte si trasformava in un ospitale rifugio per i "senza tetto". Non si hanno ulteriori informazioni per stabilire in che modo siano state assemblate le bottiglie, però un'idea interessante potrebbe essere quella di utilizzare il sistema sviluppato a pagina 286, con l'uso di una rete da cantiere per garantire la stabilità della struttura.

Strutture spaziali reticolari

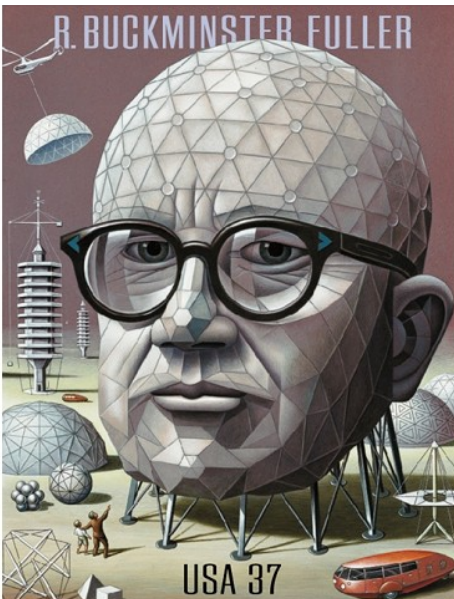


Illustrazione 51: francobollo di Buckminster Fuller.

Le strutture spaziali reticolari sono molto simili alle strutture a guscio, anche se le forme tridimensionali non sono ottenute attraverso un superficie curva ma dall'assemblaggio di piccole aste rigide, connesse fra di loro alle estremità. Esse possono essere ricondotte a spigoli di solidi poliedrici, che approssimano la sfera. Lo studio di figure geometriche tridimensionali Platoniche e Archimedee, regolari e semiregolari, capaci di aggregarsi senza soluzione di continuità, può offrire lo spunto per la creazione di nuove

strutture con ottime caratteristiche. Una variante allo schema reticolare è quella di realizzare pannelli assemblabili ai lati, che determinano le facce del solido, come nel progetto dell'Octagon house⁶⁹ di Keith Critchlow, distribuendo gli sforzi su tutta la superficie.

Le strutture spaziali reticolari, concentrando le forze in elementi lineari, riescono a coprire grandi luci con un limitato utilizzo di materiali e conseguente un ridotto peso proprio. Un'ulteriore ottimizzazione delle strutture reticolari spaziali può essere ottenuta secondo quanto suggerito da Richard Buckminster Fuller⁷⁰: «I componenti tesi e compressi possono essere separati allo scopo di ottimizzare peso e costi. Tetraedri così costruiti, combinati in strutture reticolari, possono essere usati per costruire pavimenti, muri, torri, navi e persino cupole geodetiche». Le principali difficoltà costruttive sono la realizzazione dei giunti e l'uso di aste aventi lunghezze diverse. Tale problema può essere superato realizzando strutture basate sull'icosaedro sferico, formato da 20 triangoli equilateri, avendo così gli spigoli tutti uguali (vedi figura a pagina 271).

A seconda del tipo di forma, si possono riconoscere strutture piane (tralicci tridimensionali), a curvatura semplice (volte a botte) o doppia (cupole emisferiche, paraboloidi). Per quanto riguarda la costruzione di elementi a doppia curvatura, un posto rilevante le cosiddette cupole geodetiche⁷¹. Queste strutture sono legate al nome Richard Buckminster Fuller, che le brevettò nel 1954. Una cupola geodetica è un struttura emisferica formata da una rete di aste giacenti su cerchi massimi, detti geodetiche appunto. Le geodetiche sono in grado di distribuire gli sforzi locali

69 La peculiarità di questo progetto è la capacità di espansione di queste cellule in ogni direzione, a partire da figure geometriche semplici (triangoli equilateri, quadrati, esagoni e ottagoni) assemblate fino a formare sezioni di solidi (ottaedro tronco, rombicubottaedro, cubottaedro tronco).

70 Richard Buckminster Fuller (Milton, 12 luglio 1895 – Los Angeles, 1° luglio 1983) è stato un inventore, conduttore televisivo, architetto e designer statunitense. Fu anche professore alla Southern Illinois University e prolifico scrittore. Nel 2004, l'United States Post Office rilasciò un francobollo commemorativo di R. Buckminster Fuller nel 50° anniversario del brevetto della cupola geodetica e nel giorno del suo 109° compleanno (vedi immagine a pagina precedente). (Fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/Buckminster_Fuller)

71 In matematica una geodetica è una particolare curva che descrive localmente la traiettoria più breve fra punti di un particolare spazio. Il termine "geodetica" deriva da geodesia, la scienza della misurazione delle dimensioni e della forma del globo terrestre. (Fonte: <http://it.wikipedia.org/>)

sull'intera struttura. Queste si intersecano formando triangoli (intrinsecamente stabili) che giacciono approssimativamente sulla superficie della sfera. La successiva fase di tamponamento della struttura risulta particolarmente semplice, fissando gli elementi di chiusura al di sopra o al di sotto dei nodi della maglia. Essendo la rigidità e la resistenza assicurati dalla struttura sottostante, il rivestimento può essere leggero o realizzato anche con teli. Possono essere efficacemente riutilizzati i teli di protezione dei rimorchi dei camion, tesabili e impermeabili, dotati di borchie che possono facilitare le operazioni di fissaggio sui lati. Un'interessante sperimentazione per quanto riguarda il rivestimento di strutture geodetiche è stata effettuata durante il Geodesic Workshop avvenuto nel 2002 in Texas. In quell'occasione è stata autocostruita una cupola metallica tamponata con elementi triangolari in papercrete preparati precedentemente, fissandoli alla struttura con del fil di ferro.

Purtroppo questo tipo di strutture non ebbe il successo sperato da Buckminster Fuller nel campo residenziale a causa della loro complessità progettuale e della forma inusuale. Sono poche quindi le esperienze di abitazioni realizzate con questo sistema (vedi pagina 265). Un caso particolare risulta essere quello di *Drop City*, il primo insediamento di abitazioni a forma di cupola, realizzato da una comunità di hippy in Colorado, tra 1965 e il 1970, contestatori dello stile di vita americano. Per formare il reticolo geodetico sono stati utilizzati come materiali alluminio, legno, bambù; per il tamponamento, lamiere e similpelle. Ma le principali caratteristiche di queste costruzioni geodetiche sono l'autocostruibilità da parte degli stessi abitanti e l'impiego di materiali riciclati dalla demolizione degli autoveicoli, per tamponare la struttura portante in legno.



Illustrazione 52: insediamento Drop City, Texas, U.S.A.

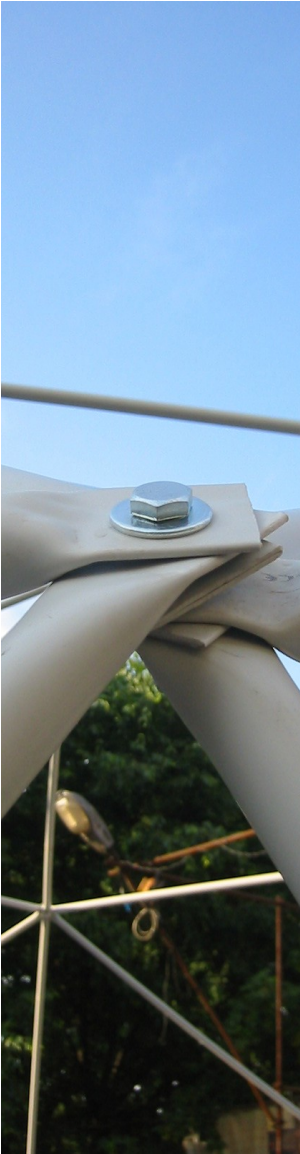
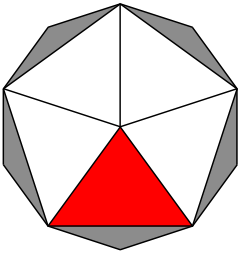


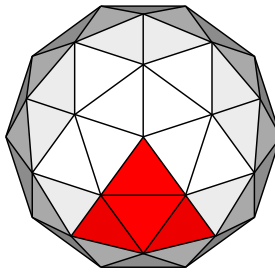
Illustrazione 53: nodo imbullonato, realizzato pressando canaline tubolari in pvc \varnothing 31 mm.

Ma veniamo ora alla realizzazione di una cupola geodetica. Ci sono essenzialmente due modi di procedere. Se si hanno a disposizione elementi lineari con una specifica lunghezza e si vogliono utilizzare con il minimo spreco possibile, essi “comanderanno” la scelta della tipologia e della grandezza della cupola. Altrimenti è possibile scegliere a priori la tipologia di cupola che si vuole realizzare e la dimensione del raggio della stessa. Nella figura a pagina seguente sono presenti 3 tipologie di cupole (fino a frequenza 3), ma si potrebbe continuare all'infinito, a partire dalla scomposizione del solido regolare a 20 facce triangolare equilatero, l'icosaedro. A ogni successiva scomposizione dei suoi triangoli di base in triangoli più piccoli corrispondono cupole che approssimano con precisione crescente, la sfera in cui sono iscritte, ma contemporaneamente aumentano le difficoltà costruttive. Una volta scelto il raggio della sfera in cui è iscritta la cupola (che corrisponderà ovviamente alla sua altezza interna massima in mezz'ora), è necessario attraverso dei coefficienti moltiplicativi dello stesso, stabilire la lunghezza e le quantità delle aste. Una volta tagliati della misura necessaria gli elementi bisogna realizzare i nodi. Questo è un punto cruciale in quando se si utilizzano aste pressoché indeformabili (per esempio di acciaio o in bambù), sarà il giunto a dover determinare la curvatura necessaria. Altrimenti,

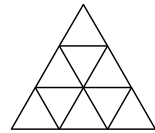
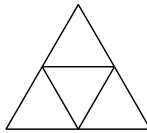
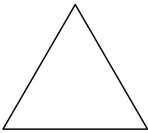
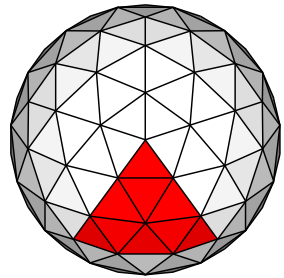
Frequenza 1



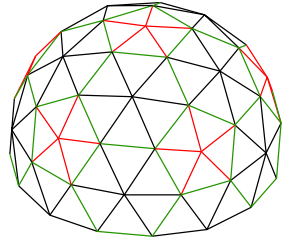
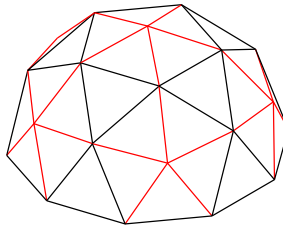
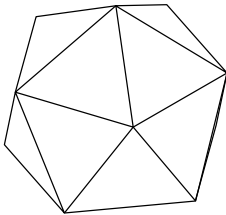
Frequenza 2



Frequenza 3



Schemi di assemblaggio



N° Aste **A** = 25

Lunghezza = $1,051 \cdot \text{raggio}$

N° Aste **B** = 0

Lunghezza = /

N° Aste **C** = 0

Lunghezza = /

N° nodi a **4** aste = 5

N° nodi a **5** aste = 6

N° nodi a **6** aste = 0

N° Aste **A** = 35

Lunghezza = $0,618 \cdot \text{raggio}$

N° Aste **B** = 30

Lunghezza = $0,546 \cdot \text{raggio}$

N° Aste **C** = 0

Lunghezza = /

N° nodi a **4** aste = 10

N° nodi a **5** aste = 6

N° nodi a **6** aste = 10

N° Aste **A** = 80

Lunghezza = $0,412 \cdot \text{raggio}$

N° Aste **B** = 55

Lunghezza = $0,403 \cdot \text{raggio}$

N° Aste **C** = 30

Lunghezza = $0,348 \cdot \text{raggio}$

N° nodi a **4** aste = 15

N° nodi a **5** aste = 6

N° nodi a **6** aste = 40

Tabella 11: divisione geodetica dell'icosaedro.

utilizzando elementi deformabili (come per esempio canaline in pvc a sezione circolare da elettricista, facilmente recuperabili), le aste assumeranno naturalmente la curvatura durante la fase di montaggio. I giunti di elementi circolari o rettangolari non sono particolarmente complessi ma devono essere progettati. Se le aste sono in acciaio o in plastica è possibile appiattire le loro estremità, con una pressa meccanica per il metallo o a mano per quelle in plastica (dopo averne scaldato le estremità fino a rammollimento utilizzando un phon da elettricista), forarle con un trapano e giuntarle in opera attraverso un semplice bullone passante. Ispirandosi al sistema ideato per il fissaggio del rivestimento plastico nella realizzazione di una parete di tamponamento in bottiglie di plastica (vedi pagina 286), è possibile utilizzare un doppio dado, da avvitare sopra a un telo di chiusura steso sopra la cupola. Tuttavia, le cupole geodetiche possono essere costruite senza la realizzazione di nodi complicati qualora le estremità delle aste non possano essere facilmente appiattite. Per fare questo, ci viene in aiuto un ottimo sito internet⁷² che spiega passo dopo passo, come costruire una cupola geodetica in bambù (ma sarebbe possibile fare con qualsiasi altro materiale), soltanto sovrapponendo e legando gli elementi fra di loro, senza la necessità di creare nodi rigidi.

Un particolare caso di struttura reticolare spaziale è rappresentato dalle strutture reciproche. Queste sono strutture tridimensionali formate da aste, in numero a almeno 3 a formare un circuito chiuso, che si sostengono a vicenda attraverso il semplice appoggio reciproco. Come dimostrato dal disegno del ponte leonardesco a pagina 186, esse si basano su un principio antico che risale agli albori delle costruzioni realizzate dall'uomo. Presente anche nell'architettura tradizionale giapponese e cinese, il loro uso viene citato in alcuni scritti medievali e nello stesso Codice Atlantico⁷³ e sembrano oggi tornare a nuova luce, in quanto se ne sono riscoperte le grandi potenzialità. In realtà strutture reciproche sono comuni anche ai giorni nostri: l'iride dell'occhio, l'otturatore di una fotocamera, il nido degli uccelli, il gioco degli

⁷² <http://www.desertdomes.com>. Sul sito è presente un'applicazione che automatizza il calcolo delle lunghezze delle aste delle cupole geodetiche, a partire dalla tipologia e dal raggio della cupola.

⁷³ Leonardo Da Vinci, *Codice Atlantico*, foglio 899 (ex foglio 328).

shangai, un cesto di vimini, sono tutti esempi di strutture reciproche⁷⁴. Sono strutture straordinariamente stabili che possono resistere a carichi considerevoli coprendo gradi luci a partire da elementi corti, anche se l'eventuale collasso di un elemento provoca il cedimento dell'intera struttura. Inoltre sono montate a secco e posso assumere differenti assetti senza particolari problemi, potendo essere smontate e rimontate velocemente. È proprio quest'ultima caratteristica che le rende ideali per la costruzione di strutture temporanee.



Illustrazione 54: struttura reciproca con 90 pali di legno, costruita da Rinus Roelofs (Olanda, 2001).

Tensostrutture

La tensostrutture sono strutture formate da una superficie sottile e flessibile (membrana) o da funi incrociate in grado di supportare carichi attraverso sforzi di sola trazione. Un esempio naturale di come lavorano le membrane è la bolla di sapone. Il "tiro" delle funi o della membrana deve essere compensato da strutture esterne a cui esse si ancorano. Per



Illustrazione 55: amaca.

⁷⁴ <http://strutturereciproche.myblog.it/>

fare ciò possono essere utilizzati elementi di bordo rigidi a flessione e compressione, puntoni perimetrali o interni o elementi esterni a cui la struttura risulta appesa. Come le funi, da cui possiamo derivare il loro comportamento statico, le membrane adattano la loro forma al modo in cui vengono caricate. Per evitare questo comportamento di forma flessibile, le tensostrutture vengono stabilizzate attraverso la pretensione della superficie per mezzo di forze esterne, in modo tale che rimanga tesa sotto qualsiasi condizione di carico. È questo il principio base della loro progettazione. Per realizzare la tensione desiderata le forze di pretensione devono essere abbastanza elevate e la curvatura deve essere accentuata, evitando ampie zone piatte dove gli sforzi aumentano considerevolmente. Come regola, «due punti in posizione elevata devono sempre essere separati almeno da un punto in posizione inferiore, e viceversa»⁷⁵. Per la creazione di picchi più alti vengono di solito usati puntoni. Nel campo che ci riguarda, possono essere interessanti le coperture a tenda o a vela, utilizzate generalmente per costruzioni a carattere temporaneo, ancorate lungo i bordi attraverso cavalletti o tiranti. In genere sono utilizzati membrane sintetiche impermeabili, ma nel caso di riuso di materiale di scarto, come ricordato nelle pagine precedenti, è possibile utilizzare il telo a chiusura dei rimorchi dei camion, dotato di borchie utili all'ancoraggio.

⁷⁵ Schodek D. L., *Strutture*, traduzione a cura di D. Coronelli e L. Martinelli, Pàtron Editore, Bologna, 2004.

4.3 Chiusura

La chiusura⁷⁶ di un edificio consiste nel gruppo di tutti quegli elementi tecnologici che abbiano lo scopo di dividere, chiudere, lo spazio interno da quello esterno. Questa divisione può essere netta, evitando il passaggio di persone, animali, oggetti ma anche di sostanze liquide o gassose e (limitatamente) di energia, o parziale, qualificando una chiusura a filtro. Considerando l'edificio come un organismo microscopico, la chiusura è la parete cellulare, attraverso la quale transitano tutti i flussi di materia e di energia, atti allo svolgimento delle attività umane al suo interno.

La chiusura è l'elemento che ci fa da "scudo", e fu proprio questo bisogno primordiale di protezione che creò l'Abitazione: la funzione strutturale era necessaria affinché quella di chiusura fosse possibile, rimanendo quest'ultima quella prioritaria. L'involucro, ha il compito di modulare le condizioni termiche esterne, compito che ha svolto per secoli, differenziandosi in relazione alle condizioni climatiche⁷⁷. Come ricordato a pagina 188, nel corso della storia, la struttura portante coincise sempre, o quasi, con quella di chiusura, nella tipologia costruttiva a parete portante. L'utilizzo di strutture a telaio, "libera" le pareti perimetrali dalla funzione di sostegno, specializzandone il compito. La chiusura dell'edificio è necessaria per mantenere una delimitazione fisica, assicurando sicurezza e protezione, sia per garantire il comfort, termico, luminoso e acustico. Usualmente le chiusure non riescono a soddisfare le prestazioni richieste in un solo strato funzionale, ma all'interno del loro spessore, diversi materiali si susseguono ognuno, formando in questo modo, pareti dette *multistrato*. A seconda del compito che svolgono è possibile distinguere:

- strato portante;
- strato di collegamento;
- strato di tenuta all'acqua;
- strato di rivestimento;

⁷⁶ «Insieme delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici del sistema edilizio aventi funzione di separare e di conformare gli spazi interni del sistema edilizio stesso rispetto all'esterno.» (UNI 8290)

⁷⁷ Butera F. M., *Dalla caverna alla casa ecologica*, Edizioni Ambiente, Milano, 2004.

- strato di tenuta all'aria;
- strato di isolamento termico;
- strato di isolamento acustico;
- strato di fono-assorbimento;
- strato di barriera al vapore;
- strato di regolarizzazione;
- strato di ripartizione dei carichi;
- strato di ventilazione;
- strato di accumulazione termica;
- strato resistente al fuoco.

La disposizione variabile degli strati nella parete dà luogo a modelli funzionali diversificati e soluzioni tecnologiche differenti. Spesso, è necessario affiancare ai prodotti utilizzati come tamponamento, un telaio in legno di supporto. Utile in questo senso, sarebbe l'utilizzo di un sistema portante a Balloon frame o Platform frame, in cui sono presenti montanti lignee a interasse ravvicinato. Dove si presentano discontinuità, non solo nello spessore ma anche sulla superficie, è nella zone delle aperture. In corrispondenza di queste la chiusura cambia, in quanto differenti sono i requisiti richiesti: la trasparenza non può essere assicurata da elementi opachi e a questo scopo è necessario l'utilizzo di serramenti atti al passaggio della luce, a tenuta d'aria. Le chiusure opache e trasparenti dell'edificio sono quindi gli elementi che definiscono la forma complessiva e determinano le caratteristiche degli spazi interni.

Come ricordato sopra, in questo paragrafo andrebbero ricompresi gli elementi tecnici presenti al punto 246 (Strutture in elevazione a parete portante), in quanto, oltre alla funzione strutturale, assolvono anche quella di chiusura. Per maggior chiarezza nell'esposizione, e per evitare inutili ripetizioni, non ne viene proposta nuovamente la trattazione, se non in casi dove il loro utilizzo comporta accortezze specifiche. Secondo quanto detto, per la realizzazione di chiusure verticali esterne, oltre a quanto riportato nelle pagine che seguono, è possibile utilizzare:

- papercrete, pagina 254;
- tubi di cartone, pagina 259;
- copertoni, pagina 263.

4.3.1 Chiusure verticali⁷⁸

4.3.1.1 Pareti perimetrali non portanti

Papercrete

L'utilizzo e la preparazione del papercrete è già stato descritto a pagina 254, impiegato però come materiale strutturale portante. In realtà questo composto di *cartacemento* si presta particolarmente bene anche all'utilizzo in pareti di tamponamento, essendo un materiale leggero ($\approx 400 \text{ kg/m}^3$) e isolante⁷⁹. A differenza di quanto detto precedentemente l'uso non portante del papercrete, permette l'utilizzo di una percentuale di carta più elevata e un minor uso di cemento. Questa tipo di composizione rende il composto più sostenibile dal punto di vista ambientale e economico. Le percentuali si aggirano intorno a 60% di carta, 30% di sabbia e 10% di cemento. La bassa percentuale di quest'ultimo garantisce migliori proprietà termiche. Non dovendo assolvere compiti strutturali, è inoltre possibile sostituire il cemento del tutto, utilizzando calce e argilla che reagendo chimicamente svolgono la funzione di legante dell'impasto. Durante un workshop effettuato presso il «Lost Valley Educational Center», Peter Reppe e Jodi Engles hanno testato miscele di papercrete composte da 67% di carta, 16% di sabbia, 8% di calce e 8% di argilla. Successivamente hanno provato a eliminare il contributo della sabbia distribuendo le percentuali in questo modo: 67% di carta, 16% di calce e 16% di argilla; questa miscela, molto meno resistente di quelle precedenti ma molto più pura, può essere utilizzata come isolante da spruzzare nelle intercapedini murarie o su superfici verticali e orizzontali.

⁷⁸ «Insieme degli elementi tecnici verticali del sistema edilizio avanti funzione di separare gli spazi interni del sistema edilizio stesso rispetto all'esterno.» (Fonte: UNI 8290)

⁷⁹ Solberg G., *Building with papercrete and paperadobe*, Remedial Planet Communications, Usa, 2002.

Lattine di metallo



Illustrazione 56: autocostruttore che realizza una parete in lattine di metallo recuperate.



Illustrazione 57: blocco costruttivo di lattine di metallo recuperate.

Le lattine usate, così come molti altri materiali di scarto, possono essere facilmente reimpiegate per la realizzazione di una parete di tamponamento. Esse sono adagiate in orizzontale, perpendicolarmente al piano della parete, e sono posate sopra abbondanti letti di malta, atti renderle solidali fra loro. Una variante su questo tema, che permette una più veloce messa in opera e maggiore resistenza, a fronte però di un maggior numero di lattine richiesto, è l'idea che nel 1971 Mike Reynolds brevettò un sistema per realizzare un blocco costruttivo costituito da lattine vuote. Le lattine devono avere più o meno la stessa dimensione e sono assemblate per formare la parete attraverso giunti di malta, senza la necessità di immergere le lattine nel cemento. Ogni blocco è formato da un primo e un secondo paio di lattine posizionate in una direzione, e un terzo paio disposto fra i due ruotato di 90 gradi. Altre due lattine sono posizionate fra il paio esterno e il paio intermedio, con la funzione di rendere il

blocco maggiormente ermetico agli agenti atmosferici, quali vento e pioggia. Questi elementi sono mantenuti in posizione attraverso delle legature di fil di ferro che cerchiano fra di loro i due paia esterni, serrando per contatto anche le lattine intermedie. Un altro esempio del riuso possibile delle lattine fu l'esperienza portata avanti da Martin Pawley al dipartimento di architettura all'università cilena Cornell, nel 1971. In quest'occasione vennero realizzati degli elementi strutturali lineari a partire da lattine di birra e bibite su cui sono stati arrotolati strati di cartone, usati in una struttura icosaedrica, e una volta a botte formata da un pannello sandwich curvo di cartone e lattine (vedi pagina 310). Per la costruzione di un modulo da 25 m² si stabilì un consumo da un minimo di 1.000 a un massimo di 3.000 lattine giuntate di testa, e minimo 70 m² a un massimo 370 m² di rivestimento cartone.

Bottiglie di vetro

Un altro materiale di rifiuto largamente disponibile sono le bottiglie di vetro. Nel 2007 in Europa sono stati prodotti più di 16 milioni di tonnellate di rifiuti da imballaggio di vetro, quasi interamente da ascrivere alla produzione di bottiglie. Data la dimensione e la grande quantità di produzione, le bottiglie di vetro, e in particolare quelle di birra, si prestano magnificamente ai nostri scopi. La principale difficoltà nella posa in opera è dovuta alla forma cilindrica delle bottiglie, che non permettono un assemblaggio a secco e richiedono parecchia malta per la realizzazione di una parete. Nel corso della storia ci sono state state esperienze che hanno tentato di standardizzare a monte la produzione, in modo tale da ottenere un elemento in vetro facilmente impiegabile per le costruzioni. Alfred Heineken, a capo dell'omonima industria produttrice di birra olandese, fra le più grandi al mondo, nel 1960 durante un suo viaggio mondiale per gli stabilimenti produttivi, si trovò a passeggiare sulla spiaggia caraibica di Curaçao (isola a 75 km dalla costa del Venezuela), e vide migliaia di bottiglie abbandonate sulla spiaggia. In Olanda, i camion che distribuivano la birra tornavano allo stabilimento con "i vuoti", pronti per essere sterilizzati e riempiti di

nuovo. Ogni bottiglia compiva questo percorso almeno una trentina di volte, prima di essere distrutta. Come molte altre bottiglie e lattine esportate in giro per il mondo, quelle di Curaçao venivano abbandonate una volta che il loro contenuto era stato consumato. Questo perché, anche dove esistevano stabilimenti in situ, oltre a una certa distanza diventava anti-economico recuperare i vuoti. Sconcertato dalle squallide condizioni abitative degli abitanti dell'isola, che vivevano in baracche costruite con ciò che trovavano per strada, decise di risolvere questi due problemi in un solo modo: l'obiettivo non era tanto quello di realizzare una bottiglia che potesse essere usata come mattone, ma un mattone che potesse contenere birra. In realtà l'utilizzo di bottiglie di vetro per costruire muri o addirittura intere case era già stato sperimentato. Questa bottiglia però sarebbe stato il primo oggetto di massa disegnato e prodotto appositamente per essere riutilizzato come componente edilizio. Al progetto parteciparono l'architetto olandese N. John Habraken affiancato dalla divisione di ricerca e sviluppo della Heineken. Uno dei prototipi iniziali prevedeva bottiglie di forma pseudo circolare e inoltre si voleva mantenere la posizione verticale degli elementi, in quanto in questo modo la bottiglia poteva sopportare uno sforzo di compressione elevato pari a 50 kg/cm^2 . Questo primo prototipo con collo molto lungo e connessioni a incastro laterali, fu considerato dagli esperti di marketing troppo "effeminato" per essere una bottiglia di Heinken. Habraken decise allora di abbandonare la strada delle bottiglie verticali assemblate a secco, nell'interesse della semplicità.

Dopo tre anni di ricerca, raggiunse la forma definitiva. La WOrld BOttle, così fu battezzata, è di forma parallelepipedica con due lati opposti piani e due semicirculari. In questo modo la resistenza nella posizione orizzontale raggiunge il livello desiderato. Le bottiglie vengono assemblate orizzontalmente attraverso malta di cemento con l'aggiunta di silicone, posata sui lati piani, in cui sono presenti dei rilievi atti a migliorare l'aderenza fra vetro e malta. Il collo, molto corto in realtà, viene a incastrarsi nella base concava della bottiglia che gli sta accanto.



Illustrazione 58: bottiglia di birra Heineken Wo.Bo. (35 cl).

L'ultima sfida da vincere era quella di riuscire a realizzare le connessioni agli angoli e le aperture per porte e finestre senza tagliare le bottiglie, problemi mai risolti veramente con i prototipi precedenti. Il dettaglio dell'angolo a 90° si risolse facilmente in un giunto per sovrapposizione, come nelle tradizionali unioni della casa in blockbau. La forma delle bottiglie inoltre permetteva di risparmiare spazio e di ridurre la massa degli imballaggi durante il trasporto. Nel 1963 furono prodotte 100.000 bottiglie in 2 taglie, da 350 mm e 500 mm, pari a 35 cl e 53 cl. Un



Illustrazione 59: dettaglio connessione angolo.

modulo di 3 m per 3 m aveva bisogno di circa 1.000 bottiglie. Nonostante l'iniziale successo, l'idea dopo poco non decollò e lo stesso Alfred Heineken vide il suo progetto sfumare. Egli si scontrò con il settore marketing, contrario a cambiare forma alla bottiglia Heineken. Gli esperti sostennero che il successo del prodotto era legato a un'immagine ben definita e consolidata nella mente dei consumatori, e tentare di cambiarla sarebbe stato troppo rischioso. A oggi le uniche due strutture realizzate con questo sistema sono all'interno dello stabilimento olandese della Heineken e un muro al museo Heineken a Amsterdam.

Nonostante non abbiano una forma a facce piane, le bottiglie di vetro standard possono essere assemblate con successo mediante l'uso di malta. Case e strutture fatte di bottiglie si possono trovare in molte aree del mondo. Negli Stati Uniti una delle più famose è la Bottle House, costruita in 6 mesi nel 1905 con 51.000 bottiglie di birra, whisky, soda e medicine, miste a adobe. Un'altra struttura composta da

bottiglie di vetro è il tempio buddista autocostruito Wat Pa Maha Chedi Kaew nella provincia thailandese di Sisaket, circa 600 km a nordest di Bangkok. Con un milione di bottiglie, di Heineken e di birra locale (Chang).

Di seguito andrò a descrivere la parete in bottiglie di vetro di dimensioni 2,7 m x 2 m che ho contribuito a costruire, insieme ai ragazzi del gruppo «Seiv de farm» (vedi pagina 172) in Cascina Torchiera a Milano. L'ampia disponibilità in loco di bottiglie di birra in vetro, vendute durante le serate musicali organizzate nella cascina, ha dettato la scelta del materiale e del metodo costruttivo da adottare. Sono state utilizzate bottiglie di birra Menabrea da 33 cl (altezza pari a 23 cm, diametro maggiore pari a circa 5,5 cm), per un totale pari a circa un migliaio. Come prima operazione si è reso necessario lavarle con acqua, anche per facilitare il distacco dell'etichetta cartacea. Successivamente si è eseguito un piccolo scavo lineare della profondità di 50 cm, e è stato steso un primo strato di malta bastarda di circa 5 cm per la preparazione del piano di posa della parete. La piccola fondazione è stata resa impermeabile posando dei sacchi di plastica da spazzatura sul fondo. Dopo la stesura di un altro strato di malta, stavolta più sottile, si è passati alla posa della prima fila di bottiglie (a quota inferiore al piano di campagna) distanziate fra loro circa 2 cm, chiudendo gli interstizi sempre con della malta. Dopo la posa di un altro corso di malta bastarda, sempre di circa 2 cm, la fila superiore è stata posta sfalsata di mezza bottiglia rispetto a quella superiore, avendo così i giunti sovrapposti, e si è proceduto in questo modo fino in sommità, avendo cura di controllare, e se necessario correggere, la verticalità della parete. È stata usata una media di 250 bottiglie/m², con una spesa totale di circa 150 € per comprare cemento e sabbia. Per la realizzazione sono stati impiegati circa 100 uomini/ora, compresa la parte di recupero e pulitura delle bottiglie. Il lavoro sarebbe potuto procedere più velocemente se fosse stata utilizzata una piccola betoniera per la preparazione della malta. Per eliminare l'uso di cemento è possibile realizzare una parete in terra-paglia e bottiglie di vetro, avendo particolare attenzione nell'impermeabilizzazione verso l'umidità di risalita.



Illustrazione 60: autocostruzione di una parete di bottiglie in Cascina Torchiera.

Bottiglie di plastica



Illustrazione 61: fotografia della nave *Plastiki* nella baia di San Francisco.

Le bottiglie di plastica, in PET, sono fra i rifiuti più diffusi. L'Italia ha il triste record mondiale della vendita d'acqua minerale in bottiglia, in maggior parte di plastica, che si traduce in un totale annuo di 12 kg di rifiuti pro capite. È stato calcolato che nel 2004 la produzione delle bottiglie per l'acqua consumate dagli italiani ha richiesto circa 7 milioni di barili di petrolio. Inoltre, per produrre un chilo di plastica, quanta ne serve per imbottigliare 45 litri d'acqua, si consumano 17,5 litri d'acqua e 2 kg di petrolio, e si emettono in atmosfera 2,3 kg di GHG, 40 g di idrocarburi, 25 di ossido di zolfo e 18 di monossido di carbonio. Esse sono facilmente riciclabili, ma un loro possibile uso-secondo potrebbe fare risparmiare molta energia di processo. Un simbolo recente di questa possibilità è rappresentato dalla nave *Plastiki*, un catamarano di 18 metri costruito con 12.500 bottiglie di plastica⁸⁰ recuperate, PET riciclato e altri materiali di scarto. La nave è stata progettata con la filosofia “dalla culla alla culla” e include molti sistemi a energia rinnovabile come pannelli solari, turbine eoliche e marine, e utilizzando anche due biciclette a bordo come generatori. Il 20 marzo 2010 l'equipaggio, composto da 6 persone, è salpato da San Francisco (California) attraversando il Pacifico fino a arrivare il 26 luglio a Sydney (Australia), visitando punti oceanici di grande importanza ecologica per il riscaldamento globale e l'inquinamento marino, rilevando vere e proprie isole di rifiuti galleggianti.

⁸⁰ Pari alla quantità che viene consumata negli Stati Uniti ogni 8,3 secondi.

Questa esperienza ha dimostrato la potenzialità nascoste che degli (apparentemente) inutili rifiuti possono avere. Così come per le bottiglie di vetro, anche con le bottiglie di plastica è possibile realizzare delle chiusure esterne. La asimmetria delle bottiglie può essere risolta tagliando il collo e incastrandole a due a due fra di loro. Anche considerando la possibilità di messa in opera attraverso larghi giunti di malta o in una parete a base di terra, è molto interessante il progetto sviluppato da Damiano Carminati nel suo lavoro di tesi⁸¹. Questi si prefigge l'obiettivo di ideare un sistema per assemblare le bottiglie senza l'utilizzo di malte. A differenza di quanto detto sopra, non si volevano operare modifiche alle bottiglie che dovevano poter essere utilizzate nella loro forma originale. È stato scelto l'impiego di una rete da cantiere per incastrare le bottiglie e renderle solidali tra loro. Queste si potevano ancora muovere e, con l'obiettivo di creare un diaframma resistente all'aria, è stato posto un telo di plastica sulle due facce del prototipo, fissandolo semplicemente interponendo fra il collo delle bottiglie e i tappi, successivamente avvitati. Per avere la possibilità di avvitare i teli su entrambi i lati del prototipo le bottiglie sono state disposte alternativamente in un senso e nell'altro. Per la connessione con il telaio di supporto in legno possono essere usate bottiglie più piccole (0,5 L) che saranno connesse fra i montanti attraverso il fissaggio dei tappi con delle piccole viti. Un sistema efficiente e in grado di risolvere parecchi problemi di connessione, è la realizzazione dei montanti della parete con delle sezioni a "I". L'anima del montante accoglie i diaframmi delle bottiglie e le ali chiudono i giunti fra due elementi adiacenti.

Durante il lavoro di tesi di Carminati è stata rilevata approssimativamente la trasmittanza di un prototipo composto da bottiglie di plastica, dello spessore di 33 cm. La trasmittanza misurata era pari a $U=1,72 \text{ W/m}^2\text{K}$, un valore decisamente alto e non in linea con quanto richiesto a livello normativo. Sfruttando la possibilità di chiusura delle bottiglie attraverso i tappi, è possibile aumentare la resistenza termica

81 Tesi di laurea, 2007/08, Carminati D., *WOBO 2.0, Prototipo di chiusura verticale in bottiglie di plastica*, Rel. Rogora A., Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura.

inserendovi all'interno del materiale isolante di recupero, come per esempio del polistirene da imballaggio. Qualsiasi sia il materiale utilizzato, è di fondamentale importanza che esso sia disponibile già in piccole dimensioni pronto a essere inserito nella bottiglia, per rendere il montaggio facile, e soprattutto veloce. Il rivestimento interno può essere realizzando mediante cassette di plastica per la frutta con la concavità verso l'interno a contenere le bottiglie o in qualsiasi altra soluzione compatibile.



Illustrazione 62: parete di bottiglie, prototipo Wo.Bo. 2.0, fase di montaggio

Il rivestimento esterno, a protezione del telo di plastica avvitato alle bottiglie, può essere effettuato attraverso l'utilizzo di altre bottiglie di plastica, tagliate a formare due metà, concave o convesse, a seconda della disposizione reciproca. Sovrapponendole le une alle altre, con concavità alternata, si è potuto ottenere una protezione continua, che è stata poi avvitata in corrispondenza dei tappi delle bottiglie con il collo verso il lato esterno. Per compensare la diversa lunghezza



Illustrazione 63: vista laterale.

necessaria per agganciare le parti concave è possibile utilizzare alternativamente bottiglie da 0,5 L, più corte per quelle concave e da 1,5 L per quelle convesse. Qualsiasi siano le soluzioni scelte, potranno essere applicati materiali più resistenti e gradevoli, senza peraltro rimuovere i primi, ma sovrapponendoli, poiché costituiscono comunque un'efficace barriera al passaggio dell'acqua.

Questa tecnica è senz'altro interessante e presenta molti aspetti positivi legati al riutilizzo di bottiglie di plastica, impensabili a prima vista che come materiale da costruzione. Gli aspetti da migliorare sono la tenuta della parete contro le effrazioni e le prestazioni termiche della stessa. Per quanto riguarda la resistenza è possibile sovrapporre alla rete da cantiere, una rete elettro-saldata in acciaio con lo stesso "passo", e fissarla al telaio mediante fili di ferro o altra connessione meccanica. Altrimenti è possibile legare con del filo di ferro i colli delle bottiglie fra di loro in diagonale, creando una rete esterna resistente. Questo procedimento andrebbe messo alla prova per verificarne la fattibilità tempistica. Per il miglioramento della resistenza termica è possibile ridurre la lunghezza delle bottiglie, semplicemente pressandole leggermente, o utilizzando riempimenti isolanti adeguati. In realtà questo tipo di parete leggeri, può facilmente trasformarsi in una parete massiva qualora le bottiglie venissero riempite con sabbia, terra, o

acqua, con la possibilità di distribuire la massa solo in alcuni punti o di diffonderla su tutta la superficie. Le bottiglie inoltre potrebbero essere inserite fra due pannelli rigidi a formare un pannello sandwich.

Volendo chiudere il punto riguardante l'utilizzo di bottiglie di plastica in architettura, vorrei presentare due esperienze reali molto diverse fra loro. Shigeru Ban, famoso per le sue strutture in cartone (pagina 259), in un'installazione per il Shanghai Art Museum del 2002, utilizzò bottiglie di plastica per creare un arco di entrata. I fondi di due bottiglie sono stati uniti insieme per creare un elemento unico, mentre i colli sono stati collegati attraverso un giunto in materiale acrilico. La struttura è stata limitata solo a un uso interno, ma è un ennesimo esempio, di come, con un po' di fantasia e competenza, sia possibile trasformare un rifiuto in risorsa.



Illustrazione 64: installazione di Shigeru Ban, Shanghai Art Museum (2002).

Di tutt'altro tipo è l'esperienza portata avanti da Alfredo Santa Cruz e la sua famiglia in Argentina, che, stanchi di gettare via ogni giorno bottiglie di plastica, decisero di riutilizzarle per la costruzione di una piccola casa

ecologica⁸². Tutta la struttura e le pareti sono state costruite con oltre 1.200 bottiglie in PET giuntate a secco, 1.300 contenitori in Tetra Pak per il rivestimento della copertura, lattine di alluminio e altri merci recuperate. Nei paesi in via di sviluppo la pratica del riciclo con raccolta differenziata è solo un lontano miraggio. I rifiuti vengono portati in discarica, o bruciati ai bordi delle strade. La possibilità di un uso secondo in quelle zone può essere molto più incisiva che nei paesi occidentali.

⁸² <http://sites.google.com/site/lacasadebotellas2/ecologichouseofplasticbottles>.

Tetra Pak

Sotto il nome di Tetra Pak⁸³ vengono ricondotti tutti gli imballaggi destinati al confezionamento di liquidi alimentari (latte e succhi di frutta) in poliaccoppiato, formati cioè all'unione di differenti materiali. Per prodotti a breve scadenza il materiale è un triplo accoppiato costituito da polietilene-carta-polietilene (carta 85% polietilene 15%), mentre per la funzione di lunga conservazione si impiega anche un foglio di alluminio per proteggere il prodotto da aria e luce, (anche di soli 7 µm) tra il polietilene interno e la carta (carta 75%, 20% polietilene, 5% alluminio). Un problema fondamentale che riguarda questi prodotti è la loro difficile riciclabilità, a causa dell'eterogeneità materica da cui essi sono composti. Inoltre, anche se si pensa che siano imballaggi di carta, e in realtà per 75 % lo sono, per la restante percentuale sono composti da polietilene e alluminio, decisamente più inquinanti, e con elevata quantità di energia incorporata. Dal 2003, fra Tetra Pak e Comieco, è stato siglato un Protocollo d'Intesa per la raccolta differenziata del poliaccoppiato nei Comuni italiani. Questo è riuscito a portare il riciclo di questi imballaggi a una quota vicina al 50%⁸⁴ (2007), anche se, proprio a causa della sua composizione multimateriale, il processo di riciclaggio diventa complesso e più energivoro. Stabilire, quindi, se è più sostenibile un contenitore in Tetra Pak o uno in plastica, non risulta semplice. Ancora una volta, la pratica del uso-secondo del prodotto è quella che pesa meno sull'ambiente.

Grazie alla tesi di laurea di Maria Alessandra Camera⁸⁵ si è potuto dimostrare come sia fattibile la realizzazione di pannelli isolanti di tamponamento mediante l'assemblaggio di moduli esausti in poliaccoppiato. Ovviamente essi necessitano di un telaio per poter raggiungere la necessaria resistenza e stabilità di impiego. Dopo il recupero, il lavaggio, e la chiusura dei contenitori, essi vengono posati a secco in quadrupla fila, raggiungendo uno spessore totale di 30 cm, ottenendo un pannello

83 Tetra Pak deriva dalla forma a tetraedro di un contenitore in poliaccoppiato del 1951, oggi quasi completamente sostituito dalla versione parallelepipedica. In realtà Tetra Pak è il nome commerciale dell'azienda produttrice, leader nel settore di questo tipo di imballaggi.

84 <http://www.arpa.emr.it>

85 Tesi di laurea, 2001/02, Camera M. A., *Costruire recuperando: pannelli di tamponamento realizzati con poliaccoppiato esausto*, rel. Rogora A., Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura.



Illustrazione 65: prototipo parete in Tetra Pak presentato alla Biennale di Venezia (2008) da Albori.

leggero e isolante, con una trasmittanza termica pari a $U = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$, quasi la metà di quanto richiesto dalle attuali normative di risparmio energetico. La proposta per l'utilizzo di questo tipo di tamponamento è stata presentata dallo Studio Albori alla Biennale di Venezia (11° Mostra Internazionale di Architettura, Padiglione Italiano) in un progetto di riqualificazione e riuso di uno "scheletro" edilizio abbandonato, ciò che resta di un progetto mai terminato di Aldo Rossi, vicino allo scalo F.S. di San Cristoforo a Milano.

Scatole di cartone

Carta e cartone vengono già utilizzati in edilizia per la realizzazione di diversi materiali e componenti, come per esempio casseri a perdere, isolanti, guaine traspiranti, intonacati alleggeriti, cartongesso, pannelli divisorii interni con anima a nido d'ape, ecc. Tuttavia si tratta di prodotti "nuovi", anche se spesso in materiale riciclato. Il cartone, come la carta, è un materiale che compone per larga parte i rifiuti della nostra società. Il prodotto di cartone più comunemente utilizzato sono le scatole, utilizzate per il trasporto dei prodotti. La tipologia maggiormente utilizzata per gli imballaggi è il cartone ondulato, costituito da due superfici di carta, dette copertine, che racchiudono l'ondulazione cartacea che conferisce stabilità e resistenza all'insieme. Il cartone ondulato è riciclabile e biodegradabile al 100%, e i collanti sono ormai tutti naturali derivati da amido di mais o fecola. La conducibilità termica si attesta intorno a $\lambda=0,064 \text{ W/mK}$, a dimostrazione delle sue buone capacità isolanti. Un altro materiale molto interessante per le sue caratteristiche di resistenza, è il cartone alveolare, con anima a nido d'ape rivestito da due copertine in cartoncino. A seconda degli spessori e della grammatura della carta utilizzata, questi pannelli hanno una resistenza a compressione che può variare da $1,5 \text{ kg/cm}^2$ a 3 kg/cm^2 , che è quindi suscettibile di un uso in edilizia, come strato di separazione isolante.

Ecco allora un'idea originale: realizzare una parete di tamponamento con l'utilizzo di scatole di cartone. Una parete formata da questi "cassetti" di cartone, in grado di

contenere materiale isolante recuperato, come carta tritata o polistirolo. Il concetto da cui si è partiti è sempre lo stesso: osservare il mondo che ci circonda e i rifiuti maggiormente prodotti pensando a un loro possibile riutilizzo. Così come le bottiglie di vetro, di plastica, anche le scatole di cartone vengono gettate ancora in ottimo stato, e occupano le nostre strade aspettando che vengano ritirate per entrare nel processo del riciclo. È possibile però ottenere un secondo uso per l'edilizia anche da questi elementi, diffusi e di facile reperimento. A differenza delle bottiglie di vetro, non necessitano di un lavaggio preliminare, ma tutt'al più, di una selezione degli elementi rotti o rovinati.

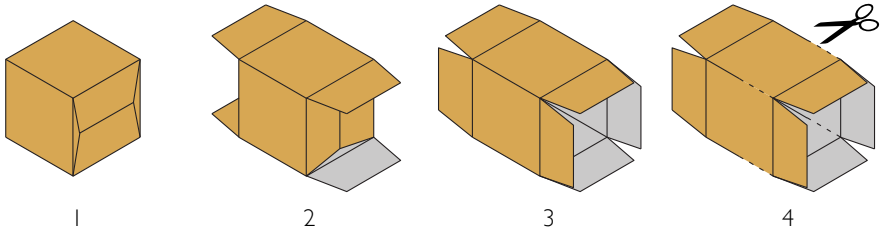


Illustrazione 66: Li Xinggong, *Paper-box House*.

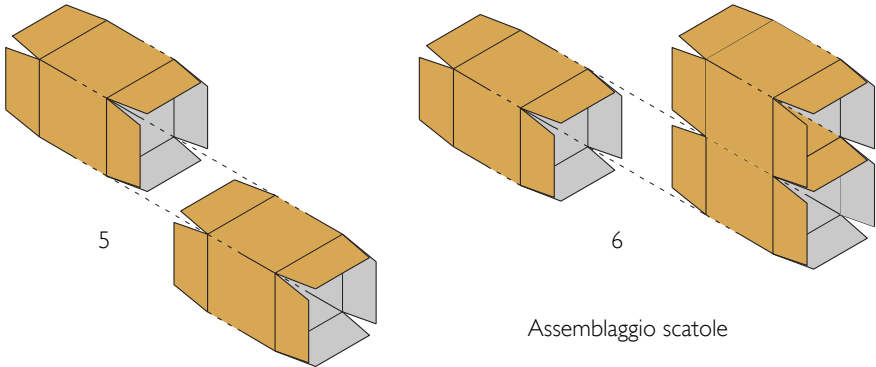
In realtà, durante l'approfondimento di questo tema, si è trovata una precedente esperienza di utilizzo di scatole e tubi di cartone per la creazione di uno stand da parte dell'architetto cinese Li Xinggong chiamato «Paper-box House». A causa della scarsità delle informazioni, non è possibile conoscere per certo in che modo siano state assemblate

fra di loro le scatole, ma è possibile presupporre dalle immagini che esse siano state semplicemente sovrapposte. La destinazione espositiva non richiede quei requisiti di tenuta e isolamento indispensabili per usi a lungo termine.

Il problema da risolvere quindi è l'assemblaggio. Dopo vari tentativi è stato possibile progettare un assemblaggio a secco fra le scatole, che permettere di creare una certa solidità fra di loro, tentando inoltre di rendere i giunti maggiormente resistenti all'aria, creando una sorta di compenetrazione fra le scatole. Si procederà ora con la spiegazione del montaggio, anche se risulta difficoltoso esporre attraverso un testo



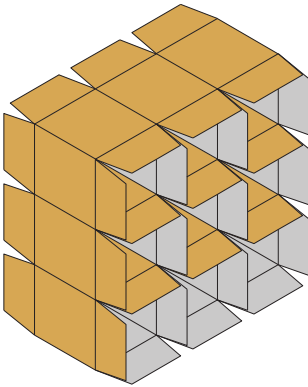
Fasi di apertura e taglio (tratteggiato) della scatola



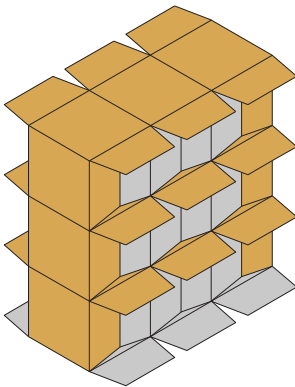
Assemblaggio scatole

Illustrazione 67: fasi di assemblaggio delle scatole.

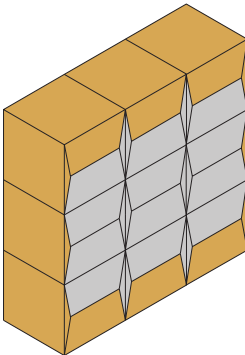
scritto certi procedimenti, semplici e immediati nella realtà. Per questo ci vengono in aiuto i disegni esplicativi presenti. Le scatole devono obbligatoriamente essere uguali fra loro e avere 4 alette di chiusura, identiche sia da un lato che dall'altro. Le scatole andranno aperte e tagliate sui 4 spigoli per metà della profondità, e tutti dalla stessa parte. A questo punto le scatole andranno assemblate come descritto nella figura in alto. Grazie ai tagli, due scatole potranno scorrere una dentro l'altra, avendo due facce sovrapposte. In questo modo ogni scatola avrà come nuova superficie interna quella della scatola adiacente. I tagli ovviamente dovranno incontrarsi fra una scatola e l'altra, e questo significa che una scatola, qualsiasi sia la sua posizione, sarà ruotata orizzontalmente di 180° rispetto a quella adiacente, in modo tale da avere da avere tagli opposti. Verranno così assemblate tante scatole quante necessarie per la realizzazione del tamponamento. A questo punto, prima di chiudere definitivamente



Modulo assemblato



Chiusura ribaltata prime alette



Modulo completo

Illustrazione 68: assemblaggio modulo.

la parete, bisogna riempire le scatole con il necessario materiale isolante.

Questo potrà essere fatto anche a terra e alzare la parete solo successivamente, per rendere più facile e efficace il riempimento. Si consiglia di usare carta comune tritata a secco da inserire all'interno. Per migliorare il comportamento all'umidità è possibile inserire le carta in sacchetti di plastica comuni, chiuderli attraverso un nodo con le maniglie, e inserirli all'interno della scatole. Si consiglia di aggiungere più carta dello stretto necessario, in modo tale che il tutto risulti leggermente pressato una volta chiuse le scatole. Questo eviterà la formazioni di vuoti all'interno, soprattutto dovuti al costipamento in verticale della carta. Sistemato in orizzontale il pacchetto di chiusura riempito a dovere è giunto il momento di chiudere le scatole. Grazie all'assemblaggio effettuato, le alette di chiusura di una scatola saranno appartenenti a quelle che la circondano, favorendone la tenuta. I giunti orizzontali e verticali potranno essere assicurati con dello scotch. La parete realizzata ha presumibilmente una durata nel tempo ridotta e necessita ovviamente di un telaio per poter resistere. Inoltre non è resistente allo sfondamento quindi un rivestimento ancora a un telaio con montanti di breve interasse potrebbe risolvere facilmente entrambi i problemi. Potrebbe essere utile per esempio per la realizzazione di strutture

temporanee o interne. Successivi studi potranno determinarne le proprietà termiche e di tenuta.

Sempre attraverso l'utilizzo di scatole di cartone, come già ripetuto di facile reperibilità, è possibile realizzare dei pannelli sandwich legno-cartone-legno, in cui le facce esterne sia composte da pannelli piani in legno o di materiale derivato, e il riempimento interno di scatole di cartone, appiattite e sovrapposte fra loro. La monoliticità del pannello sarà garantita attraverso connettori passanti da un lato all'altro, come per esempio dei bulloni metallici o delle spine di legno incollato. La giunzione laterale dei blocchi potrà essere ottenuta a incastro sagomando il cartone, o disponendo a hoc i vari strati appiattiti. Questo componente di chiusura potrebbe rivelarsi molto interessante in quanto utilizza le scatole di cartone nella forma in cui sono maggiormente disponibili come rifiuti, ossia schiacciate o rovinare. Lo spessore del pannello, e quindi la sua resistenza termica, potrà variare a seconda di quanti strati di cartone ondulato verranno sovrapposti. La montabilità a secco e la facilità di esecuzione, lo rendono molto adatto all'utilizzo in cantieri in autocostruzione. Altri strati potranno essere aggiunti successivamente per completare il componente di chiusura. Anche in questo caso, si lascia a eventuali sperimentazioni future la definizione delle caratteristiche termiche, e di eventuali pregi e difetti riscontrati sul campo.

Bancali in legno

Il bancale, o pallet, è una «piattaforma orizzontale caratterizzata da un'altezza minima, compatibile con la movimentazione tramite carrelli transpallet e/o elevatori a forche o altre appropriate attrezzature di movimentazione, impiegata per la raccolta, l'immagazzinamento, la movimentazione e il trasporto di merci e carichi»⁸⁶. La grande versatilità di utilizzo e la robustezza del pallet hanno rivoluzionato le modalità di trasporto delle merci anche in ambito industriale. Possono essere di diversi materiali,

⁸⁶ Brenda N., Creazza A., Dallari F., *Pallet in legno, Mercato Italia*, Logistica, settembre 2008.

ma i più diffusi rimangono quelli in costituita da assi e blocchi di legno (abete, pino, faggio e pioppo) uniti fra loro attraverso chiodatura. Esistono diverse tipologie di bancali, in relazione al tipo di movimentazione necessaria, al carico a cui resistere, ecc. Possono essere classificati a seconda della possibilità di usarli indifferentemente in un piano o in quello ribaltato (reversibile o non reversibile) e se sia possibile inforcai solo su due lati o su tutti e quattro (a 2 vie o a 4 vie). Generalmente i pallet si dividono fra quelli prodotti seguendo una determinata normativa, detti standard, e quelli non standard. I pallet di qualità certificata sono detti standard e seguendo processi di produzione certificati assicurano maggiore stabilità e efficienza, con una vita media utile di 5-6 anni. La principale tipologia di pallet standard è il pallet Eur-Epal. Si tratta di un bancale non reversibile a 4 vie, con marchio di proprietà di Epal⁸⁷, di cui le dimensioni sono 800x600 mm (EUR 6); 800x1.200 mm (Pallet EUR 1); 1.000x1.200 mm (Pallet EUR 3); 1.200x1.000 mm Pallet (EUR 2).

Il pallet EUR ha un peso proprio pari a 25 kg e in caso di stoccaggio sullo scaffale o sulle forche di un veicolo per trasporti interni può resistere ai seguenti carichi⁹⁵:

- 1.500 kg, se il carico è uniformemente distribuito sopra la superficie del pallet;
- se impilato, il pallet inferiore può resistere a un carico addizionale di 4.000 kg (per un totale di 6.000 kg) se la superficie su cui appoggia è piana, orizzontale e rigida e se il carico è distribuito su tutta la superficie del pallet.

Per la produzione, il controllo e la marcatura di questo tipo di pallet, bisogna rispettare standard di qualità e resistenza forniti dalla norma UIC 435-2⁸⁸. Queste caratteristiche definite permettono l'utilizzo del bancale anche come parete portante continua, facilmente verificabile staticamente grazie alle caratteristiche materiche fissate a priori dalla norma. A causa del costo di un E-Pallet nuovo, che si aggira intorno a 9-10 €, alla convenienza della riparazione, variabile fra i 3-4 €, e al circuito

⁸⁷ European Pallet Association.

⁸⁸ CODICE UIC, 435-2/EUR-1: "Specifica di qualità per un pallet piatto europeo in legno delle dimensioni di 800 mm x 1.200 mm (EUR-1)", 9° edizione, giugno 2007.

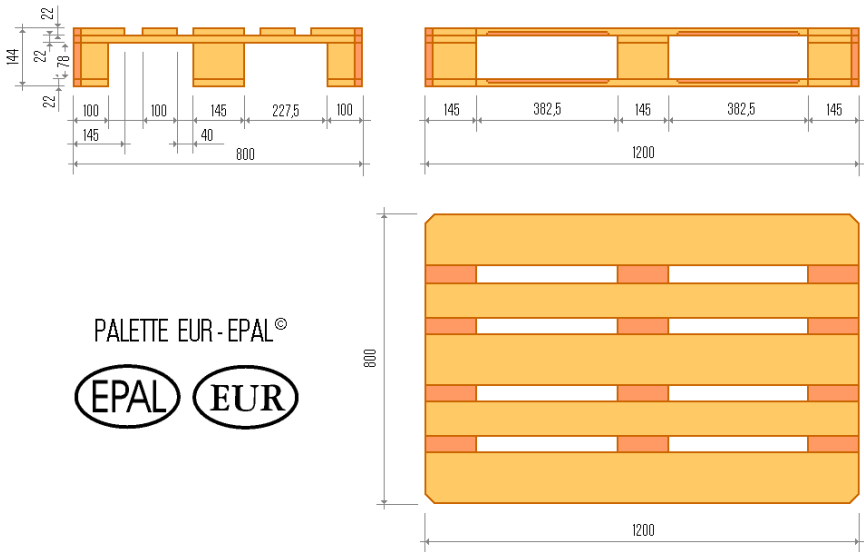


Illustrazione 69: dimensioni di un Pallet EUR (Fonte: <http://it.wikipedia.org/wiki/Pallet>)

di noleggio, è difficile recuperarli, in quanto non sono considerati rifiuti, ma sono (per fortuna) riutilizzabili e riparabili. Ovviamente la maggiore qualità comporta un costo maggiore, e l'utilizzo di pallet non standard è molto spesso conveniente, raggiungendo quasi il 70% della produzione nazionale attuale. Questi sono chiamati pallet "a perdere" in quanto, terminata la loro utilità, risulta più conveniente buttarli o bruciarli, in quanto non è previsto (o comunque è antieconomico) una loro reimmissione nel circuito degli imballaggi, o una loro riparazione qualora fossero danneggiati. Gettare o bruciare elementi in grado di essere usati così come sono, o attraverso semplici riparazioni, è semplicemente stupido. L'obiettivo di un progetto che vuole utilizzare questo tipo di materiale di scarto, sarà quello di riutilizzare i pallet a disposizione nel migliore dei modi, per la creazione di un tamponamento esterno. L'idea di base è che questo elemento standardizzato possa diventare un componente edilizio di recupero a costo zero, con prestazioni adeguate, e di facile reperibilità in tutto il mondo. Come linea di principio, le dimensioni dei pallet non

standard rispetto quelle dei loro fratelli maggiori, ma un progetto attento dovrebbe essere in grado di utilizzare le più differenti misure, modificando il disegno a seconda del modulo a disposizione. Assemblando due pallet in verticale è possibile ottenere un'intercapedine che può essere facilmente riempita con qualsiasi tipo di isolante di recupero. Abitualmente, per fornire maggiore stabilità e isolamento, vengono però impiegate schiume di isolanti sintetici insufflate, che successivamente si solidificano. Inoltre questa intercapedine può essere facilmente utilizzata per il passaggio di impianti tecnici.



Illustrazione 70: Gregor Pils & Andreas Claus Schnetzer; *Pallet House*, Venezia, 2008.

L'idea di una "Pallet House" è già stata sperimentata da Gregor Pils e Andreas Claus Schnetzer, due studenti viennesi, che con questo progetto si sono aggiudicati il primo posto al concorso GAU:DI Sustainable Architecture Competition. Questo modulo è di circa 60 mq, composto da 800 Pallet EUR (80x120), recuperati con un costo pari a 5 euro l'uno. Attualmente stanno continuando la sperimentazione in Africa, con progetti di unità a basso costo (11 USD/m²), a struttura portante a arco di pallet. Nella pagina accanto è possibile osservare un esempio schematico di una struttura in pallet. Molti sono i problemi irrisolti, ma grazie alla traslazione di un bancale sull'altro, i nodi fra la parete e le parti orizzontali sono a incastro, e la parete verticale permette la realizzazione di una intercapedine.

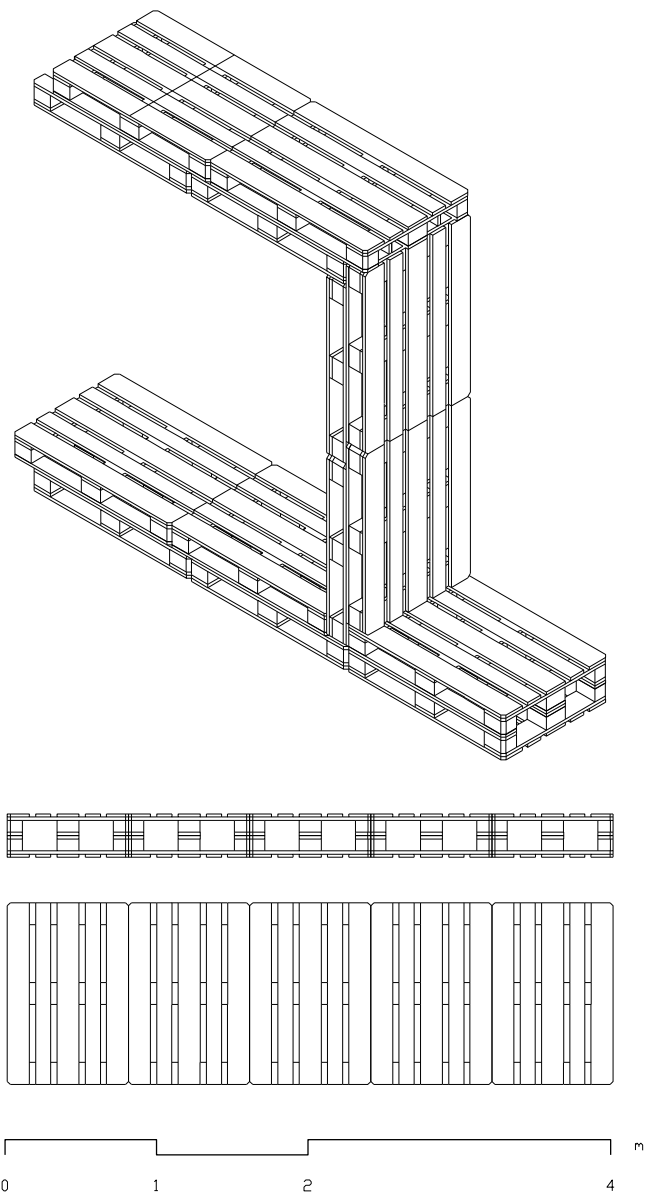


Illustrazione 71: assonometria di un possibile assemblaggio (in alto). Pianta e prospetto di una fila di pallet ribaltati e accostati.

Vasetti di yogurt

L'idea per un pannello per partizioni verticali è stato presentato nella tesi di laurea di Bruno A. M. e Sauria A. (2004), sviluppando l'idea alla base della realizzazione di un vespaio areato in vasetti di yogurt e elementi in poliaccoppiato (vedi pagina 305). Questo componente è costituito da quattro pannelli di 90x90 cm, composto da vasetti di yogurt recuperati e Tetra Pak, tenuti insieme da una cornice di legno e dagli strati di finitura opaca o trasparente.

Cassette della frutta



Illustrazione 72: immagine del prototipo sviluppato.

Le cassette della frutta, sia in plastica sia in legno, sono un rifiuto di larga disponibilità e di facile reperimento. Alla fine dei mercati cittadini, un mare di questi oggetti aspetta l'arrivo della nettezza urbana. Le cassette in plastica dimostrano particolari pregi in un'ottica di riuso, quali l'estrema leggerezza, e quindi trasportabilità, durabilità, e la capacità di automontaggio a incastro. Il D.M. 21 12 1984 stabilisce alcune delle caratteristiche di questi imballaggi, fra cui le dimensioni standard: 30x40 cm e 30x50 cm. Durante la

tesi di laurea di Puglisi M. e Ricci C.⁸⁹, è stato sviluppato un piccolo modulo 2x2 m in cassette di plastica, giuntate con fascette anch'esse di plastica. Questo elemento non doveva possedere particolari prestazioni tecnologiche essendo puramente espositivo, tuttavia risulta essere molto interessante per i possibili sviluppi che apre. Le cassette di plastica, in un'ottica di autocostruzione, potrebbero fungere da paramento verticale leggero, essendo impilabili e accostabili fra loro, ma andrebbero risolti diversi problemi, fra cui l'impermeabilità all'aria e all'acqua, e la resistenza alle effrazioni.

4.3.1.2 Infissi esterni verticali

Gli infissi esterni verticali svolgono la funzione fondamentale di connettere, almeno visivamente gli spazi interni con l'esterno. Ci riescono, proteggendo l'interno da pioggia e vento, grazie alla trasparenza di certi materiali: fra tutti, il vetro. In realtà, anche se pare strano, è possibile affermare che l'utilizzo del vetro alle finestre è senz'altro l'invenzione tecnologica più importante di tutta la storia dell'abitare⁹⁰. Il vetro è conosciuto fin da tempi antichissimi, ma non fu (quasi) mai usato per le finestre. La sua diffusione per questo uso cominciò a avvenire nel '400 nelle case borghesi delle principali città italiane, ma si dovette aspettare fino al 1700 perché la finestra a infisso diventasse la regola, almeno nelle case dei ricchi. Fino all'invenzione del vetro e alla sua diffusione come elemento di chiusura nel secolo XVIII, le finestre sono sempre state due buchi nella muratura, che potevano essere chiusi o aperti da scuri di legno. Nel primo caso la stanza sarebbe stata buia, nel secondo caso fredda⁹¹. Oggi le caratteristiche degli infissi sono molto elevate garantendo un'ottima trasparenza, arrivando a avere trasmittanze così basse da poter essere paragonate a quelle di un buon muro di qualche decennio fa. Anche questa tipologia di chiusura, oltre alla trasparenza e all'apribilità deve soddisfare altri requisiti fra cui: resistenza alle effrazioni, al fuoco, tenuta all'aria e all'acqua, offrire un buon isolamento acustico.

89 2009/10, Puglisi M., Ricci C., *Blooming cube*, Rel. Consalez L., Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura.

90 Butera F.M., *Dalla caverna alla casa ecologica*, Edizioni Ambiente, Milano, 2004.

91 Il termine inglese per finestra è window, che deriva dall'unione di wind-eye, ossia occhio del vento.



Illustrazione 73: immagine evocativa.

Non di secondaria importanza sono la durabilità, la pulibilità e la manovrabilità dei telai mobili. Tutti questi requisiti sembrano escludere la possibilità del riuso di materiali di scarto, o anche di finestre ormai non più utilizzate. Walter Segal, nel suo metodo (vedi pagina 236), proponeva la realizzazione perfino dei serramenti in autocostruzione. Questi si componevano di lastre di vetro dai bordi smerigliati, scorrevoli orizzontalmente su corsi di alluminio angolare, trattenuti da un'intelaiatura in legno. Questo sistema, semplice e economico, non è più parimenti performante. Riuscire a garantire una tenuta all'aria, che dipende dalla bontà del serramento, e una trasmittanza termica, che dipende dalla "tipologia" del vetro (singolo, doppio, bassoemissivo, ecc.) rispondenti a quanto viene richiesto dalla normativa di risparmio energetico, è quasi impossibile senza l'utilizzo di finestre di produzione industriale. Tuttavia è possibile qualche eccezione.



Illustrazione 74: Rural Studio, Glass Chapel, Mason's Bend, AL, U.S.A. (2000). La facciata nord è realizzata con finestrini recuperati.

Nel prototipo, già presentato a pagina 291, viene utilizzata la tecnologia, non del doppio vetro, ma del doppio serramento. Due serramenti obsoleti dal punto di vista termico, vengono accoppiati per formare una sorta di grande camera vetrata, efficiente almeno quanto un vetro doppio e in grado di ospitare delle piante diventando un piccolo giardino di inverno.

Per quanto riguarda la costruzione di edifici espositivi, temporanei o dimostrativi, insomma dove la normativa non sia così stringente, è possibile riutilizzare come elementi trasparenti finestrini di vecchie automobili, oblò di lavatrici (sicuramente a tenuta d'acqua) e anche schermi di televisori a tubo catodico, ormai destinati all'estinzione.

4.3.2 Chiusure inferiori⁹²

Come le chiusure superiori, le chiusure inferiori hanno il compito di separare il volume dell'edificio dall'ambiente esterno ai piedi. Oltre a dover garantire le stesse prestazioni richieste a un qualsiasi elemento di tamponamento esterno, esse dovranno in aggiunta essere in grado di resistere all'umidità di risalita, nell'eventualità di essere poste a contatto con il terreno, e garantire la ventilazione sottostante, per garantire la salubrità dell'edificio. Questa funzione può essere svolta distribuendo a

⁹² «Insieme degli elementi tecnici orizzontali del sistema edilizio aventi funzione di separare gli spazi interni del sistema edilizio stesso dal terreno sottostante o dalle strutture di fondazione.» (UNI 8290)

terra dei copertoni recuperati (pagina 195), oppure appoggiandosi a degli altri elementi impermeabili come cassette di plastica. Adottando specifici accorgimenti, come, per esempio sopraelevare di qualche decina di centimetri il piano terra (vedi Metodo Segal, pagina 236), questi requisiti specifici vengono a perdersi, rendendo questo elemento tecnico un normale elemento di chiusura.

Vasetti di yogurt

È possibile realizzare un vespaio areato attraverso il riuso di vasetti di yogurt e contenitori in Tetra Pak (vedi pagina 305), come casseri a perdere per il getto cementizio. Questa soluzione è stata analizzata nella tesi di laurea⁹³ di Amalia Manuela Bruno e Arianna Sauria. L'idea è nata dalla somiglianza fra questi piccoli contenitori di plastica e gli *igloo*⁹⁴ generalmente utilizzati in edilizia per realizzazione dei vespai. La forma di questi elementi permette la realizzazione di una piastra con un minor consumo di calcestruzzo ma contemporaneamente la ventilazione nelle due direzioni ortogonali attraverso l'intercapedine e la tenuta all'umidità di risalita. Dopo la presa, la soletta costituisce un elemento monolitico che funziona come una lastra rigida con numerosi appoggi sul piano di posa, che sono i pilastri generati negli incavi tra gli igloo. I vasetti di yogurt potrebbero essere impiegati secondo lo stesso sistema, ossia diventare dei contenitori impermeabili all'acqua per realizzare i piedini questa piastra. I vasetti che vengono utilizzati più comunemente per distribuire lo yogurt sono costituiti da materie plastiche, soprattutto polipropilene e polistirene. La principale differenza fra questi e gli igloo è che quest'ultimi presentano una tipologia modulare che permette la connessione a incastro, mentre per l'utilizzo di vasetti di yogurt è stata necessaria la realizzazione di un supporto che li connettesse fra loro e formasse il piano orizzontale utile al getto. Il materiale scelto come

⁹³ 2003/04, Bruno A.M., Sauria A., *Un vespaio di rifiuti, pannelli per vespaio realizzati con vasetti dello yogurt e contenitori in poliaccoppiato*, rel. Rogora A., Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura.

⁹⁴ Gli igloo sono calotte emisferiche di plastica riciclata, a pianta quadrata o rettangolare che, connessi a incastro in corrispondenza dei piedi d'appoggio, costituiscono la cassaforma su cui effettuare il getto di calcestruzzo per la realizzazione dei vespai areati.



Illustrazione 75: pannello per vespaio aerato con vasetti di plastica e supporto in Tetra Pak, derivante dalla combinazione di due pannelli, superiore e inferiore.

supporto è risultato il Tetra Pak, grazie alle sue caratteristiche di impermeabilità dovute agli strati plastici. Per la realizzazione del pannello è necessario aprire le confezioni di Tetra Pak e disporle su piano, sovrapponeandone i lembi. Successivamente questi verranno saldati termicamente con un semplice ferro da stiro alla massima temperatura, ottenendo un pannello di dimensioni 45x45 cm. I fori per l'inserimento dei vasetti verranno eseguiti con trapano a punta tazza. Per impedire il riempimento in cls di tutti i vasetti, lasciando alcuni vuoti a formare tasche di aria ferma con proprietà isolanti, è possibile realizzare un pannello derivante dall'unione di due pannelli: il primo, costituito in totale da 25 fori, 9 lasciati vuoti e 16 occupati da vasetti, e il secondo da 9 fori con vasetti, situati in corrispondenza dei 9 mancanti nell'altro pannello. Sovrapponendo il secondo al primo si ottiene un unico pannello con 9 vasetti, con interasse di circa 18 cm, che andranno a formare i piedini durante il getto, e 16 che rimarranno vuoti. Il pannello così realizzato, sottoposto a test, ha

dimostrato una resistenza a compressione pari a 24.8 t/mq. Attraverso questo sistema è possibile realizzare un vespaio areato⁹⁵ di altezza di circa 10 cm (i vasetti, e quindi l'intercapedine, sono alti da 5 cm a 7 cm) ridotta utilizzando quantità di cls ridotta rispetto a metodi tradizionali.

Bottiglie di vetro

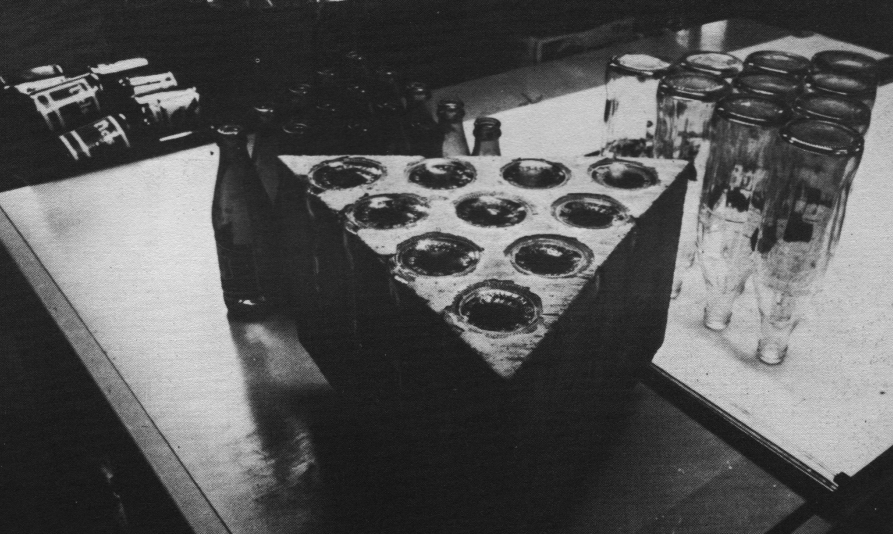


Illustrazione 76: elemento orizzontale di chiusura, formato da bottiglie di vetro e cemento.

A pagina 280 si è già parlato della grande resistenza a compressione, pari a 50 kg/cm², a cui possono resistere bottiglie di vetro caricate assialmente. Nell'immagine sopra è possibile vedere un blocco per la realizzazione di un solaio verso terra, dove delle bottiglie di coca-cola da 350 ml a testa in giù, vengono legate da un unico getto di cemento. Il solaio così formato è impermeabile all'umidità di risalita, e possiede elevata inerzia termica. Inoltre, come con i vasetti di yogurt (vedi pagina 305), le bottiglie creano delle sacche d'aria ferma, che migliora l'isolamento del blocco. I colli delle bottiglie sono lasciati liberi, appoggiando direttamente a terra, lasciando il solaio

⁹⁵ In realtà è possibile realizzare un vespaio non areato semplicemente ribaltando il pannello.

sollevato su questi piedi di vetro, realizzando in questo modo un vero e proprio vespaio areato (vedi pagine precedenti). Quest'idea è stata sviluppata durante un workshop sul riuso in architettura alla Cornell University nel 1971⁹⁶.

4.3.3 Chiusure superiori⁹⁷

Le chiusure superiori hanno il compito di separare il volume dell'edificio dall'ambiente esterno in sommità, e di resistere agli agenti atmosferici, proteggendo l'edificio. Devono essere in grado di resistere a carichi anche elevati, come vento o neve, e come tutte le chiusure devono garantire determinate prestazioni atte a permettere lo svolgimento delle attività umane all'interno dell'edificio. Determinante per le coperture è la pendenza della stessa, ossia l'angolo formato fra il suo piano e l'orizzontale. Se sono costituite da elementi discontinui, la tenuta all'acqua è garantita solo per certi valori di inclinazione.

Anch'esse sono composte da diversi strati funzionali. Essi sono stati definiti nel dettaglio dalla norma UNI 8178 e sono:

- elemento di supporto
- elemento di tenuta
- elemento portante
- elemento termoisolante
- strato di barriera o di diffusione della pressione di vapore;
- strato di continuità
- strato di imprimitura;
- strato di irrigidimento o ripartizione dei carichi;
- strato di pendenza;
- strato di protezione;

⁹⁶ Pawley M., *Garbage Housing*, Architectural press, Londra, 1975.

⁹⁷ «Insieme degli elementi tecnici orizzontali o suborizzontali del sistema edilizio aventi funzione di separare gli spazi interni del sistema edilizio stesso dallo spazio esterno sovrastante.». (Fonte: UNI 8290)

- strato di regolarizzazione;
- strato di schermo al vapore;
- strato di separazione e/o scorrimento;
- strato di tenuta all'aria;
- strato di ventilazione;
- strato drenante.

Lattine di metallo



Illustrazione 77: rivestimento in lattine pressate.

Le lattine di metallo possono essere usate in diversi modi anche per la realizzazione di elementi di copertura. Grazie al materiale di cui sono fatte, alluminio o acciaio, esse sono resistenti e impermeabili, e possono essere utilizzate come elementi di copertura discontinui. Pressando le lattine fino a ridurle in piano, e sovrapponendole fra di loro è possibile realizzare una vera

e propria copertura in lamiera a squame di lattine. La connessione all'elemento portante sottostante avverrà attraverso elementi meccanici, che saranno protetti dalla sovrapposizione della lattina superiore.

Un altro sistema per la realizzazione di una copertura con lattine di metallo è stato sperimentato durante il workshop tenuto alla Cornell University nell'anno 1971. In quell'occasione è stata realizzata una copertura a volta, a sandwich con lattine e strati

di chiusura in cartone. Le lattine quindi fungono come strato di separazione fra le due copertine in cartone e garantiscono una sorta di microventilazione passante fra una lattina e l'altra. Il problema fondamentale di questo elemento sperimentale rimane la durabilità e l'impermeabilità dello stesso.

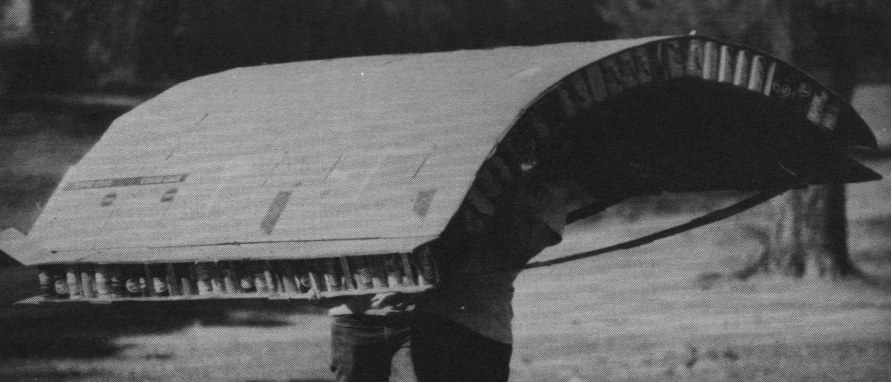


Illustrazione 78: volta a botte di lattine e cartone.

Papercrete

Il papercrete (vedi pagina 254) può anche essere utilizzato per la realizzazione elementi strutturali di copertura secondo due modalità: attraverso la posa di pannelli prefabbricati, o alternativamente spruzzando il papercrete su un strato appositamente preparato. I pannelli hanno di solito dimensione massima di 60 cm x 120 cm, grandezza movimentabile manualmente, con un'altezza variabile che di solito di atesta sui 10 cm, con in mezzeria una rete di armatura. I pannelli verranno poi appoggiati su travetti in legno, e successivamente impermeabilizzati. Il secondo sistema prevede la posa sui travetti di una rete a grana fine (circa 5 mm) e lo spruzzo di papercrete direttamente su di essa, attraverso diversi getti di completamento.

Tetra Pak

Come abbiamo visto a pagina 290, i contenitori in poliaccoppiato posseggono

caratteristiche di resistenza e di durabilità elevate, grazie agli strati da cui sono composti. L'assoluta impermeabilità, aspetto per cui il Tetra Pak è nato, potrebbe essere sfruttata per svolgere la funzione di manto di copertura. Sfruttando la capacità di "saldarsi" fra loro se scaldati (vedi pagine seguenti) formando un telo continuo, oppure semplicemente inchiodati uno sull'altro alla copertura, essi possono soddisfare la funzione di tenuta. I vari contenitori saranno aperti, resi piani, e sovrapposti nel senso della pendenza del tetto, in modo da non permettere alle acque meteoriche di infiltrarsi fra gli strati sottostati.

4.4 Partizioni interne

Le partizioni interne sono quegli elementi tecnici atti a suddividere lo spazio racchiuso dalle chiusure esterne. Esse possono essere partizioni interne verticali, come tramezzi divisorii o infissi interni, oppure orizzontali, come solai, soppalchi, ecc. A differenza degli altri elementi di chiusura, esse non devono soddisfare prestazioni termiche particolari, in quanto tendenzialmente saranno utilizzate per dividere spazi interni alla stessa temperatura. Non dovranno resistere alle intemperie esterne, quali vento o pioggia, e inoltre, almeno per le partizioni interne verticali, non debbono sopportare carichi elevati. Questo permette una grande libertà di scelta fra tutti gli elementi presentati nelle pagine seguenti, che potranno facilmente ricoprire anche il ruolo di divisorii interni. Tuttavia permangono i requisiti di resistenza al fuoco e isolamento (e assorbimento) acustico, fondamentali anche fra diverse unità abitative.

4.4.1 Partizione interna verticale

Le partizioni interne verticali svolgono il compito di delimitare e suddividere lo spazio interno in parti più piccole, di dimensione funzionale al loro futuro utilizzo. Gli elementi di chiusura esterna verticali possono essere facilmente impiegati per questo scopo e è a essi che si fa riferimento:

- papercrete, pagina 254;
- tubi di cartone, pagina 259;
- copertoni, pagina 263;
- lattine di metallo, pagina 278;
- bottiglie di vetro, pagina 279;
- bottiglie di plastica, pagina 285;
- Tetra Pak, pagina 290;
- scatole di cartone, pagina 292;
- bancali in legno, pagina 296;
- vasetti di yogurt, pagina 301;
- cassette della frutta, pagina 301.

4.4.2 Partizione interna orizzontale

Le partizioni interne orizzontali hanno il compito di suddividere lo spazio interno nel senso dell'altezza, e questo significa che sono elementi che hanno funzione strutturale in quanto saranno soggetti prevalente a carichi ortogonali al loro piano, inflettendosi. Questo tipo di sforzo è composto da due diversi stati di azione: il lembo superiore, quello a contatto con i carichi, sarà compresso, mentre il lembo inferiore sarà teso. Ciò significa che questo elementi dovranno essere in grado di resistere bene sia a compressione ma soprattutto a trazione, una caratteristica difficile da soddisfare mediante elementi discontinui quali si sono dimostrati fino a ora gli elementi tecnici presentati. Per assolvere a questa funzione statica è possibile fare riferimento agli elementi presentati al punto 4.3.3., a pagina 308. Elementi in papercrete armato con forse gli unici che in breve spessore sono in grado di resistere a questi sforzi.

Vasetti di yogurt

Nella tesi di laurea di Bruno A. M. e Sauria A., è stata fatta un'ulteriore ipotesi (rispetto al vespaio e al pannello verticale) di realizzare un pannello per coibentazione partizioni orizzontali. Questo è costituito da due pannelli contrapposti di 45x55cm, con vasetti di yogurt di plastica rettangolari e rete da cantiere, posto su un primo assito e chiuso da un secondo, quello del pavimento o della copertura; la coibentazione può essere aumentata inserendo del polistirolo nei vasetti e dell'argilla espansa al di fuori.

Bancali in legno

I bancali di legno sono nati per sostenere carichi elevati perpendicolari al proprio piano di giacitura, e conseguentemente si prestano bene a fare da supporto orizzontale per un solaio. Le possibili problematiche possono essere quelle riguardanti l'eccessiva deformabilità rispetto a quanto previsto dalla norma, e

l'impossibilità di prevedere interassi diverse dalle dimensioni del tipo di bancale considerato.

Tubi di cartone

Come visto, i tubi di cartoni possono assolvere funzione strutturale (vedi pagina 259). Shigeru Ban, nella sua Paper Log House (pagina 262) li utilizza sia come struttura verticale continua, che per la realizzazione del solaio a terra, sospeso fra due file di cassette di plastica. Affiancando in tubi fra loro, e disponendoli orizzontalmente, sovrapponendo una pannellatura rigida (in legno) per la distribuzione uniforme dei carichi, essi acquisiscono un comportamento statico a piastra. Da dei calcoli approssimati, senza tener conto dell'effetto benefico di questo tipo di comportamento, tubi di cartone affiancati l'un l'altro, di diametro 8 cm e spessore 2 mm, tensione di rottura 8 N/mm^2 , sottoposti a un carico di 200 kg/m^2 , riescono a resistere con un coefficiente di sicurezza pari a 3,2. Questo è relativamente basso, in quanto sono molto importanti gli effetti dovuti all'umidità e alla durata del carico, tuttavia è facilmente dimostrato come anche semplici tubi di cartone "da plotter", siano in grado di resistere a dei carichi standard in campo residenziale.

5. Do it yourself

«Il buon Dio ha fatto la carta perché ci facessimo sopra dei progetti architettonici.

Qualsiasi altro uso è per me sbagliato.»¹

- Alvar Aalto -

5.1 Considerazioni

Esortato dal maestro finlandese, mi accingerò ora alla parte pratica della tesi. Dopo aver dimostrato tutte le potenzialità (e le criticità) di autocostruire con i rifiuti, mi trovo a dover scegliere fra due possibili sviluppi:

- da un lato, approfondire lo studio di un elemento tecnico in materiale di recupero, da inserire nel manuale. In questa direzione potrei progettare dal punto di vista statico e tecnologico, per esempio,
 - un componente trave o a piastra corrugata in papercrete, oppure
 - un solaio alveolare armato in bambù e papercrete, o in tubi di cartone e papercrete (*paperslab*);
- dall'altro, testare la validità di processo e di contenuto del manuale stesso, progettando (e realizzando, almeno in parte) un piccolo modulo autocostruibile con materiali di rifiuto.

La scelta più logica ricade ovviamente sulla verifica dell'approccio proposto con questo manuale, e con la tesi stessa, piuttosto che lo sviluppo di un singolo componente tecnologico, che sarebbe sicuramente di mio grande interesse, ma renderebbe il lavoro svolto fin qui, poco utile.

¹ Alvar Aalto, *In vece di un articolo*, pubblicato in «Arkkitehti» nel 1958.

5.2 Prototipo

Il prototipo che ho deciso di progettare, dovrà essere pensato in vista di una possibile realizzazione in Cascina Torchiera Autogestita, a Milano. Per cui, fin dall'inizio, mi dovrò confrontare con problematiche reali. Lasciando stare questioni riguardanti tempo, manodopera, utensili, e disponibilità di finanziamenti (che nell'ipotesi di una reale costruzione, saranno affrontati successivamente), rimangono due temi cruciali, da definire in questa fase pre-progettuale: la funzione che questo spazio, seppur piccolo, avrà, con tutto quello che ne consegue, e i materiali con cui realizzarlo, seguendo l'idea e i principi insiti in quanto ho scritto nelle pagine precedenti.

5.2.1 Brief di progetto

Il modulo, come detto, sarà ubicato in Cascina Torchiera. Questa dispone di ampi spazi al suo interno, già interamente utilizzati. Non si hanno però impellenti esigenze di altri luoghi dove svolgere attività specifiche. Il prototipo quindi non assolverà esigenze particolari, ma sarà ugualmente importante come simbolo di tutti i valori insiti nella sua realizzazione. Inoltre, inserendosi nelle esperienze di autocostruzione con materiali di recupero portate avanti dal gruppo «Seiv de farm» (vedi pagina 172), di cui faccio parte, il processo di costruzione potrà e dovrà coinvolgere altre persone, nel corso di week end di work shop da programmare nel 2011, proponendo l'approccio presentato nelle pagine precedenti.

Essendo comunque necessario fissare una funzione da presentare in questa sperimentazione, si è optato per il tema del modulo abitativo di emergenza. Con questo termine non si intende solamente il caso dei disastri naturali (terremoti, inondazioni, ecc.) ma i casi di «emergenza sociale», come per esempio la situazione della popolazione Rom nel contesto milanese, costretta alla migrazione perenne da una zona all'altra della metropoli, da continui sgomberi promossi dall'amministrazione comunale.

In questo senso, il prototipo dovrà possedere le seguenti caratteristiche:

- completa autocostruibilità;
- facilità e velocità di realizzazione;
- maggior utilizzo possibile di materiali di rifiuto;
- economicità;
- buone prestazioni strutturali e tecnologiche;
- flessibilità e possibilità di espansione/aggregazione;
- accettabilità estetica.

A questo punto vorrei sottolineare il seguente concetto: indipendentemente dal risultato raggiunto, ciò che importa ai fini della presente tesi, non è tanto il progetto finito in sé, quanto l'impiego e il collaudo dell'approccio di processo proposto. Si è cercato quindi di guidare ogni scelta tecnologica e di progetto, attraverso l'impiego del Manuale, verificandone i pregi e i difetti.

5.2.2 Materiali di rifiuto

Il progetto e la prova termica delle tipologie di chiusure proposte, sono contenute nelle tavole allegate a questa tesi (vedi anche paragrafo successivo). In questa punto vorrei però presentare le scelte tecnologiche fatte, dettate dalla disponibilità di materiali di rifiuto. In altre condizioni per il loro recupero si effettueranno accordi con l'amministrazione locale e le aziende incaricate della raccolta dei rifiuti. In questo caso invece, dove, sia il progetto che la sua costruzione avvengono in maniera del tutto informale, la ricerca e la raccolta saranno effettuate personalmente, da me e dal gruppo di ragazzi che realizzerà il modulo². Tuttavia, rispetto a quanto detto finora, la scelta non potrà dipendere esclusivamente dal materiale di rifiuto disponibile, ma come tutti i progetti, seppur piccoli e sperimentali, ci sono delle condizioni al contorno da non sottovalutare, che a volte sono sovraordinate.

2 Un'aspetto che sarebbe interessante sviluppare è il coinvolgimento nel recupero dei rifiuti scelti di tutte le persone che gravitano intorno alla Cascina Torchiera, non necessariamente limitato a quelle che saranno presenti durante la sua costruzione. La Cascina potrebbe diventare il centro di raccolta informale, aspetto molto interessante per le implicazioni sociali, di efficacia e di velocità del recupero.

5.2.2.1 Ricerca e selezione

Seguendo quanto riportato nelle pagine precedenti, dopo una veloce verifica della disponibilità in quantità utili, e in tempi di raccolta (informale) relativamente brevi, si hanno a disposizione i seguenti rifiuti, di cui si sono analizzati i possibili impieghi e selezionati quelli ritenuti adatti a questo progetto:

- carta. Potrebbe essere utilizzata per la realizzazione di *papercrete* o come isolamento all'interno delle chiusure. La prima ipotesi viene scartata per la lentezza di preparazione e di asciugatura dell'impasto (soprattutto durante la stagione invernale nella quale ci si trova), per la non impiegabilità "a secco", per la necessità di adeguati strumenti di mixeraggio;
- scatole di cartone. Queste possono essere impiegate appiattite e accostate, come isolamento termico all'interno di pannelli sandwich legno-cartone-legno;
- bottiglie di vetro. Sono facilmente reperibili e sono "prodotte" all'interno della cascina. Tuttavia la lentezza nell'esecuzione, l'utilizzo di malta e quindi di acqua, e l'esperienza già portata a termine, sono i motivi per i quali si è scelto di scartare questa opzione;
- bottiglie di plastica. Sono facilmente recuperabili anche in grandi quantità, leggere da trasportare e con ottime possibilità di impiego. Potranno essere impiegate per la costruzione di chiusure verticali o orizzontali;
- pneumatici di automobili. Facilmente recuperabili, non si ritiene possano essere impiegati in questo caso per la realizzazione di pareti portanti massive. Saranno utilizzati come casseri a perdere per la realizzazione di plinti in cls;
- bancali in legno. I pallet EUR sono di difficile reperibilità, anche se sono gli unici in grado di assolvere funzioni strutturali. Quelli non standard possono invece essere impiegati come rivestimento esterno del modulo;
- contenitori in poliaccoppiato. Il facile assemblaggio e le caratteristiche fisiche

del Tetra Pak lo rendono un ottimo materiale per la realizzazione di barriere al vapore, barriere impermeabili all'acqua, o come isolante all'infrarosso all'interno di intercapedini d'aria;

- tubi di cartone. In lunghezze inferiori al metro e spessori intorno ai 2 mm, caratteristiche dei tubi di cartone su cui viene arrotolata la carta per plotter, non possono essere impiegati per la realizzazione di strutture portanti verticali. Essi possono invece assolvere funzioni statiche come orditura in un solaio;
- telo per camion. L'impermeabilità all'acqua e la facilità di tesatura attraverso le borchie che esso possiede, lo rendono un ottimo strato per la realizzazione della copertura.

Un discorso specifico riguarda l'utilizzo del legno per la struttura portante e le chiusure del prototipo. Per motivi di facilità di esecuzione e facilità di montaggio (e per quanto detto a pagina 201) si è optato per una struttura puntuale in legno. Questo non può essere considerato un materiale di rifiuto, ma le sezioni da impiegare potranno essere facilmente recuperate utilizzando assi da ponteggio. Inoltre per quanto riguarda l'impiego di pannelli a base di legno (vedi pagina 213), potranno essere impiegati pannelli OSB recuperati dalle recinzioni di cantiere. Montanti in legno non strutturali potranno essere assemblati a partire da parti più piccole (vedi pagina 235), recuperando elementi altrimenti destinati allo smaltimento. Tutti questi elementi lignei quindi possono essere considerati a costo zero.

5.2.3 Segue

Come già ricordato, la parte puramente progettuale è presentata su tavole in formato A1, non allegate a questo scritto. Ammesso che il processo spiegato fin qui sia chiaro abbastanza, ritengono sia sufficiente la “sola” rappresentazione a dimostrare come un modo diverso di concepire la costruzione e il riuso dei rifiuti sia possibile.

6. Fine

6.1 Considerazioni e conclusioni

Il Manuale presentato in questa tesi si è dimostrato fondamentale per la redazione del progetto del modulo abitativo. La sistematicità dell'approccio e la vasta collezione di esperienze proposte si è rivelata molto utile in fase di disegno, lasciando in ogni caso la possibilità di ibridazione delle tecnologie proposte. Mi illudo che in futuro questo lavoro possa essere utilizzato e ampliato da altre esperienze di questo tipo, dando il via a una serie di progetti simbolici sul riutilizzo dei materiali di scarto.

Molti sono gli aspetti da approfondire e le "spazi vuoti" che lascio a studi successivi su questi temi. Tuttavia credo di aver raggiunto gli obiettivi che mi ero posto, ossia di realizzare un testo che affrontasse a grande scala i problemi, riguardanti l'ambito architettonico e non, che incombono sulla nostra società, cercando possibili risposte in un nuovo modo di utilizzare i rifiuti che produciamo ogni giorno.

In futuro ci aspettano sfide che saremo in grado di affrontare solo attraverso la conoscenza del mondo che ci circonda. Nel campo delle costruzioni si gioca forse la partita più importante. All'inizio di questo lavoro ci siamo posti delle precise domande a riguardo. Esaurirle è sicuramente un compito arduo. Penso di aver contribuito, almeno in parte, a questo scopo. Abbiamo visto come un modo diverso di costruire l'ambiente fisico che ci circonda sia possibile, e come quello odierno non sia più sostenibile. A noi la scelta.

Indice per materiale

- Carta
 - Papercrete, pagine 254-277-310
 - Tubi di cartone, pagine 259-314
 - Scatole di cartone, pagina 292
 - Tetra Pak, pagine 290-310
- Plastica
 - Bottiglie di plastica, pagina 285
 - Vasetti di yogurt, pagine 301-305-313
 - Casette della frutta, pagina 301
 - Telo per camion, pagina 273
- Vetro
 - Bottiglie di vetro, pagine 279-307
- Metallo
 - Lattine di metallo, pagine 278-309
- Gomma
 - Copertoni, pagina 263
- Legno
 - Bancali in legno, pagine 296-313

Bibliografia

Libri consultati

Aalto A., *Idee di architettura. Scritti scelti 1921-1968*, Zanichelli, Bologna, 1987

AA.VV., *Sistemi costruttivi per l'architettura*, Libreria Clup, Milano, 2002

Alvar Aalto, *Idee di architettura, scritti scelti 1921-1968*, Zanichelli Editore, Bologna, 1991

Bernuzzi C., Chesi C., *Proporzionamento di elementi strutturali, fondamenti di teoria e progetto delle costruzioni*, Cedam, Padova, 2003

Bloch E., *Il principio della speranza*, Garzanti, Milano, 1994

Bottero M., *Progetto ambiente*, Libreria Clup, Milano, 2005

Butera F. M., *Dalla caverna alla casa ecologica, storia del comfort e dell'energia*, Edizioni Ambiente, Milano, 2004

Buck D. N., *Shigeru Ban*, G. Gili, Barcellona, 1997

Cairolì Giuliani F., *L'edilizia nell'antichità*, Carrocci, Roma, 2005

Calvino I., *Le città invisibili*, Einaudi, Torino, 1972

Capolongo S., Daglio L., Oberti I., *Tecnologie per l'igiene edilizia e ambientale*, Libreria Clup, Milano, 2002

Caravita B., *Diritto dell'ambiente*, il Mulino, Bologna, 2005

Cardenas Laverde M., *il Bambù come materiale da costruzione*, Sistemi editoriali, Napoli, 2008

Cinti G., Valeri V., *Dal disegno al progetto*, La Nuova Italia, Scandicci (FI), 1999

Croci G., *Conservazione e restauro strutturale dei beni architettonici*, UTET, Torino, 2001

- Cunningham W. P., Cunningham M. A., Saigo B. W., *Ecologia applicata*, edizione italiana a cura di Basset A., Rossi L., McGraw-Hill, Milano, 2004
- Fabris L. M. F., *Metodo Segal: storia, progetti, realizzazioni*, edizioni Clup, Milano, 2001
- Fathy H., *Costruire con la gente, storia di un villaggio d' Egitto: Gourni*, Jaca Book, Milano, 1986
- Gastaldi M., Pedeferra P., *Introduzione ai materiali per architettura*, UTET Libreria, Torino, 2005
- Gauzin-Muller D., *Architettura sostenibile*, Edizioni Ambiente, Milano, 2003
- Giordano G., *Tecnica delle costruzioni in legno*, Hoepli, Milano, 2008
- Janssen, J. J. A., *Building with bamboo: a handbook*, Intermediate technology, Londra, 1988
- Jodidio P., *Green architecture now!*, Taschen, Cologno, 2009
- Latouche S., *Breve trattato sulla decrescita serena*, Bollati Boringhieri, Torino, 2008
- May J., con Reid A., *Architettura senza architetti, guida alla costruzioni spontanee di tutto il mondo*, Rizzoli, Milano, 2010
- Mariotti E., Iannantuoni M., *Il nuovo diritto ambientale alla luce delle correzioni e integrazione al d.lgs. 152/2006*, Maggioli Editore, Dogana, 2007
- Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W.W. III, *I limiti dello sviluppo*, Mondadori, Milano, 1972
- Molinari C., *Elementi di cultura tecnica*, Maggioli Editore, Rimini, 2001
- Natterer J., Herzog T., Volz M., *Atlante del legno*, UTET, Torino, 1998
- Pallante M., a cura di, *Un programma politico per la decrescita*, Edizioni per la decrescita felice, Roma, 2008

Pawley M., *Garbage Housing*, Architectural press, Londra, 1975

Rifkin J., *Economia all'idrogeno*, Mondadori, Milano, 2003

Rogora A., a cura di, *La sostenibilità dell'autocostruzione nell'E.R.P.: processi, politiche e riflessioni*, Libreria Clup Edizioni, Milano, 2006

Schodek D. L., *Strutture*, traduzione a cura di Coronelli D., Martinelli L., Pàtron editore, Bologna, 2004

Uzielli L., a cura di, *Il manuale del legno strutturale*, Mancosu Editore, Roma, 2004

Vattimo G., a cura di, *Martin Heidegger, Saggi e discorsi*, Mursia Editore, Milano, 1980

Tesi di laurea consultate

2007/08, Carminati D., *WO.BO 2.0, Prototipo di chiusura verticale in bottiglie di plastica*, Rel. Rogora A., Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura.

2005/06, Ciffo E., *Il riciclo degli scarti di lavorazione industriale in legno, progettazione di un sistema costruttivo in PLS*, Rel. Rogora A., Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura

1998/99, Oprandi, L., *Autocostruzione e qualità dell'abitare, applicazioni evolute del Metodo Segal in Gran Bretagna*, Rel. Nardi G., Correl. Fabris L.M.F., Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura

2004/05, Parecchini N., Zapparoli G., *Costruire con la carta: sperimentazione di un conglomerato in carta riciclata*, Rel. Rogora A., Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura

2009/10, Puglisi M., Ricci C., *Blooming cube*, Rel. Consalez L., Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura

Riviste consultate

A.A.V.V., *Architettura arte povera*, in Lotus, n° 105, 2000

Nicholson L., *Rural Studio*, in Casabella, n° 669, 1991

CasaClima, n. 14, anno III, Settembre 2008, *Acciaio vegetale*, Quine Business Publisher.

Siti internet

www.amsa.it

www.awc.org

www.bambuitalia.it

www.cmcc.it

www.conai.org

www.corepla.it

www.eea.europa.eu

www.enea.it

www.energymanager.it

www.iea.org

www.greenpeace.it

www.osservatorionazionaleerifiuti.it

www.ruralstudio.com

www.shigerubanarchitects.com

<http://unfccc.int>

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare:

tutta la mia famiglia, per il supporto dimostratomi;

Marcello, Matteo, Stefano e Anna per i bei momenti passati durante gli anni di università;

chi mi ha aiutato in questo percorso, anche se ora non più al mio fianco;

tutti i miei amici più cari, Viviana, Manola, Tommaso, e in particolare Andrea, per esserci sempre;

Vincenzo, perché in due siamo più forti;

il dottor Walter Bishop;

i ragazzi di «Seiv de farm», per il loro impegno;

il mio relatore, per i consigli e la disponibilità;

tutte le persone che combattono per un mondo migliore.