

ifeu-
Institut für Energie-
und Umweltforschung
Heidelberg GmbH



Recupero dei materiali di demolizione di CaseClima

**su incarico della
Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige
Rip. 29 – Agenzia per l'ambiente**

Settembre 2012

Autori:

IFEU-Institut Heidelberg:

Florian Knappe (capo progetto)

Anton Diebel

Joachim Reinhardt

Stefanie Theis

Syneco:

Elisabeth Leiter

Rupert Rosanelli

Andreas Vieider

nonché

Martina Bonadio

Walter Feeß (ditta Feeß Erdbau)

Indice

1	Introduzione / Compiti	1
2	La struttura delle CaseClima e gli effetti riguardo a demolizione e smaltimento.....	3
2.1	Edifici di tipologia costruttiva massiccia (monolitica)	7
2.1.1	Tipologie costruttive.....	7
2.1.2	Materiali da costruzione e materiali termoisolanti.....	7
2.1.3	Possibilità di demolizione	12
2.1.4	Effetti sul pretrattamento e sul recupero dei rifiuti di demolizione.....	12
2.2	Edifici di tipologia costruttiva massiccia con sistema termo-isolante a cappotto.....	14
2.2.1	Tipi di struttura e materiali.....	14
2.2.2	Materiali termoisolanti impiegati.....	15
2.2.3	Possibilità di demolizione	18
2.2.4	Effetti sul pretrattamento e sul recupero dei rifiuti di demolizione.....	20
2.3	Edifici con struttura in legno massiccio	23
2.3.1	Tipologie costruttive.....	23
2.3.2	Materiali da costruzione e materiali termoisolanti.....	24
2.3.3	Valutazione delle possibilità di demolizione e di trattamento.....	25
2.4	Edifici con struttura a intelaiatura in legno / struttura leggera	25
2.4.1	Tipologie costruttive.....	25
2.4.2	Materiali da costruzione e materiali termoisolanti.....	27
2.4.3	Possibilità di demolizione.....	28
2.4.4	Effetti sul pretrattamento e sul recupero dei rifiuti di demolizione.....	29
2.5	Conclusioni	29
2.5.1	Problemi di pretrattamento dei materiali di demolizione	29
2.5.2	Aspetti ecologici.....	34
3	Demolizione e smaltimento di CaseClima - aspetti ecologici	35
3.1	Descrizione delle alternative	35
3.1.1	Tipologia costruttiva massiccia con sistema termoisolante a cappotto.....	35
3.1.2	Strutture leggere (con intelaiatura in legno)	39
3.2	Confronto ecologico riguardo a demolizione e smaltimento	42
3.2.1	Cambiamento del clima (effetto serra)	43
3.2.2	Acidificazione, eutrofizzazione terrestre, polveri sottili (PM 10).....	45
3.2.3	Normalizzazione dei risultati	47
3.2.4	Analisi di sensibilità.....	49
3.2.5	Discussione dei risultati	50
3.3	Tipologie costruttive e impatti ecologici a monte	51
3.3.1	Metodologia di analisi, dati, fonti.....	51

3.3.2	Bilancio degli impatti ecologici	60
4	Conclusioni.....	71
5	Situazione della tecnologia solare	73
5.1	Situazione di partenza	73
5.2	Elettricità da energia solare.....	74
5.2.1	Sviluppo della potenza installata.....	74
5.2.2	Tipi di modulo e loro importanza in Alto Adige	76
5.3	Calore da energia solare.....	78
5.3.1	Sviluppo della potenza installata.....	78
5.3.2	Tipi di collettore e loro importanza in Alto Adige	78
5.4	Previsioni di evoluzione nel tempo dei quantitativi di rifiuti	79
6	Possibilità di smaltimento degli impianti solari	81
6.1	Materiali impiegati nei moduli fotovoltaici	81
6.2	Materiali impiegati nei collettori solari termici	84
6.3	Obiettivi di politica ambientale e dei rifiuti.....	85
6.4	Stato delle tecnologie di pretrattamento.....	88
6.4.1	Opzioni per i moduli fotovoltaici	88
6.4.2	Opzioni per i moduli solari termici	90
7	Sistemi di raccolta	91
7.1	Sistema di raccolta per moduli fotovoltaici (PV)	91
7.1.1	Sistema PV-Cycle.....	91
7.1.2	Requisiti logistici in Alto Adige	94
7.2	Sistema di raccolta per collettori solari termici	96
8	Riassunto	98
9	Raccomandazioni.....	101
9.1	Retrospettiva	101
9.2	Prospettive future.....	104
	Allegato A: Spiegazioni delle categorie di fattori di impatto	106
	A 1.Cambiamento del clima	106
	A 2. Eutrofizzazione terrestre.....	108
	A 3. Acidificazione.....	108
	A 4.Danni tossici per l'uomo a causa delle polveri sottili (PM 10)	109
	A 5. Elenco delle fonti	111
	Bibliografia	112

Glossario

Tipologia costruttiva massiccia:	La tipologia costruttiva massiccia definisce un tipo di struttura in cui gli elementi che racchiudono lo spazio (pareti) svolgono al tempo stesso la funzione portante della costruzione
Tamponamento:	Un tamponamento è lo spazio riempito tra le travi in legno di una casa con struttura intelaiata o di una parete con intelaiatura in legno
Tipologia costruttiva con intelaiatura in legno:	La tipologia costruttiva con intelaiatura in legno è quella tipicamente impiegata nelle case prefabbricate, soprattutto per gli edifici a 1-2 piani. Una intelaiatura in legno con aste verticali e orizzontali svolge la funzione portante verticale di una parete, mentre i materiali a lastra della parete svolgono la funzione di irrigidimento orizzontale della parete stessa.
Conducibilità termica:	La conducibilità termica di un materiale isolante descrive la capacità di trasporto dell'energia termica. Quanto minore è la conducibilità termica, tanto migliori sono le caratteristiche isolanti del materiale.
Mattoni porizzati	Il mattone porizzato è un laterizio per muratura con una grande percentuale di pori d'aria verticalmente al piano di appoggio, il che riduce notevolmente la conducibilità termica, senza compromettere la sua capacità portante.
Porosità	La porosità rappresenta il rapporto tra il volume dei vuoti e il volume totale di un materiale da costruzione
Vaglio preliminare	Il vaglio preliminare nel trattamento di materiale di demolizione è installato a monte del primo trituratore e serve a separare frazioni fini non idonee, quali particelle di pavimento o di intonaco
Involucro termico	Involucro termico è la denominazione comune per il sistema termoisolante a cappotto sui pareti esterni
Struttura portante	Come struttura portante si intende la somma di tutti gli elementi costruttivi portanti di un edificio
Retroventilazione	In caso di facciate stratificate lo strato più esterno ha la funzione di protezione contro la pioggia battente, ed è separato dagli elementi retrostanti della facciata tramite uno strato d'aria
Rifiuti edilizi minerali	I rifiuti edilizi minerali rappresentano la quota di rifiuti edilizi costituita da calcestruzzo, macerie di muratura, pietre e terra
Strato antigelo	Lo strato antigelo costituisce l'insieme degli strati inferiori non legati nella struttura superiore di un corpo stradale ed è insensibile al gelo
Strato portante in pietrisco	Lo strato portante in pietrisco costituisce l'insieme degli strati superiori non legati nella sovrastruttura di un corpo stradale
Standard energetico	Lo standard energetico descrive il fabbisogno specifico massimo di energia di un edificio
Impatto ecologico	L'impatto ecologico descrive l'impiego di materie prime e gli oneri ambientali connessi alla fabbricazione di un prodotto
Trasmittanza	La trasmittanza di un elemento costruttivo, espressa come coeff. U, dipende dalla sua conducibilità termica e dallo spessore
Platea di fondazione	La platea di fondazione è la piastra di fondazione piana di un edificio

Materiale litoide primario	Il materiale litoide primario è quello prodotto utilizzando materie prime primarie come pietra naturale o ghiaia
Materiale di riempimento	Il materiale di riempimento descrive le masse minerali impiegate per la il reinterro e la ricoltivazione di scavi
Bilancio materiale	Un bilancio ecologico comprende un bilancio materiale e una valutazione di effetti. Il bilancio materiale è un elenco degli input (masse di materiali, flussi di energia) e degli output (emissioni) relativi al percorso di vita di un prodotto o ad un processo di smaltimento di rifiuti
Analisi di settore	L'analisi di settore rappresenta, nell'ambito della valutazione di effetti, i contributi dei singoli elementi o settori di un percorso di vita di un prodotto o di un processo di smaltimento di rifiuti
Effetto serra	L'effetto serra descrive l'aumento della temperatura superficiale della terra a causa dell'emissione di gas serra
Potenziale di acidificazione	Il potenziale di acidificazione descrive la somma dei gas liberati come emissioni, che possono avere effetto acidificante sulle acque e sui suoli
Effetto di sostituzione	L'effetto di sostituzione descrive l'effetto che si ottiene allorchè un prodotto realizzato soprattutto con rifiuti sostituisce un prodotto di pari utilità ma fabbricato sulla base di materie prime primarie
Monolitico	Monolitica è la parete di un edificio quando è realizzata con un solo materiale da costruzione minerale
Dichiarazioni ambientali dei prodotti	Le dichiarazioni ambientali dei prodotti forniscono informazioni dettagliate sugli impatti ambientali connessi alla fabbricazione ed all'utilizzo di prodotti edilizi
Analisi di sensibilità	Nell'ambito di un bilancio ecologico attraverso un'analisi di sensibilità si verifica la sensibilità con cui il risultato del bilancio reagisce alle variazioni degli input assunti
Termica solare	La termica solare descrive la trasformazione dell'energia solare in calore utilizzabile
Fotovoltaica	La fotovoltaica descrive la trasformazione dell'energia solare in energia elettrica
Materiale assorbente	Il materiale assorbente ha la funzione di trasformare l'energia solare in calore
Semiconduttori di collegamento	I semiconduttori di collegamento sono materiali semiconduttori costituiti da due o più elementi chimici
Silicio amorfo	Al contrario del silicio cristallino il silicio amorfo ha una struttura disordinata
PV-Cycle	PV-Cycle è un consorzio volontario tra produttori di moduli per il ritiro e il riciclaggio di vecchi moduli fotovoltaici
Sputtering	Il processo descrive il rivestimento di superfici con materiali polverizzato
Fango attivo	Il fango attivo consiste soprattutto in batteri e funghi che, nel trattamento delle acque reflue, degradano le sostanze organiche attraverso un processo di denitrificazione
Wafer di silicio	I wafer sono delle lamine di ca. 1mm di spessore (in questo caso di silicio) che servono come piastra di base per componenti elettronici
Fluoropolimeri	Sono polimeri con un elevato contenuto di fluoro e quindi con grande resistenza ai composti chimici

Utilizzo a cascata	L'utilizzo a cascata definisce l'utilizzo multiplo di una materia prima, in cui la stessa, prima di un utilizzo finale, per lo più termico, può essere impiegata più volte
Prospettive future	guardando in avanti
Retrospettiva	guardando indietro
Antropogeno	di origine umana
Frantoio a proiezione	In un frantoio a proiezione il materiale viene frantumato scagliandolo contro un materiale/una parte del frantoio particolarmente dura
Frantoio a ganasce	In un frantoio a ganasce il materiale viene frantumato mediante schiacciamento; il frantoio a ganasce serve per la frantumazione preliminare
Barriera al vapore	La barriera al vapore sul lato caldo di un isolamento impedisce l'ingresso di umidità nel materiale isolante
Moduli sottili	I moduli fotovoltaici non sono prodotti con wafer di silicio ma mediante deposizione di silicio amorfo direttamente su un materiale di supporto
Tellururo di cadmio	Il tellururo di cadmio è un materiale adsorbente impiegato in celle a strato sottile in concorrenza con il silicio

Elenco delle figure

Fig. 1: Numero totale di CaseClima certificate a Bolzano (cumulate).....	3
Fig. 2: Struttura tipica delle pareti di un edificio con tipologia costruttiva massiccia (estate 2011)	4
Fig. 3: Materiali termoisolanti impiegati per isolamento di pareti esterne (rilevazione a campione)	7
Fig. 4: Strutture delle pareti di una casa passiva di struttura monolitica (estate 2011)	8
Fig. 5: Impiego di mattoni porizzati (Ufficio aria e rumore, Provincia di Bolzano 2012)	8
Fig. 6: Esempi di calcestruzzo alleggerito - struttura compatta/porosa (BauNetz Media GmbH)	9
Fig. 7: Blocco per muratura in calcestruzzo aerato autoclavato (Carl Schlenk AG 2012).....	10
Fig. 8: Materiale da costruzione composito "Bisomark" in calcestruzzo alleggerito con nucleo in schiuma dura (Bisotherm GmbH 2012)	11
Fig. 9: Sistema composito KALOPOR con isolamento in lana minerale (Klimaleichtblock GmbH 2012)	12
Fig. 10: Parete di casa passiva di struttura massiccia con sistema termoisolante a cappotto	14
Fig. 11: Sistema termoisolante a cappotto incollato e tassellato su muratura in mattoni (Renovation-profis 2011).....	15
Fig. 12: Materiali termoisolanti in un sistema termoisolante a cappotto	15
Fig. 13: Isolamento della parete esterna con polistirolo	17
Fig. 14: Isolamento della parete esterna con pannelli isolanti in fibra di legno (Ufficio aria e rumore, Provincia di Bolzano).....	17
Fig. 15: Esempio di escavatrice con benna selettiva (pixelio 2012)	18
Fig. 16: Impiego della benna selettiva per la demolizione di un sistema termoisolante a cappotto	19
Fig. 17: Parete massiccia in muratura con resti di fissaggi di un sistema termoisolante a cappotto	19
Fig. 18: Struttura schematica di un selettore a coclea (PETIT 1997)	21
Fig. 19: Esempio di separatore pneumatico (Fa. City Equip, 2008)	22
Fig. 20: Struttura sistematica di parete esterna di casa passiva con struttura in legno massiccio (estate 2011).....	24
Fig. 21: Struttura di parete esterna di casa passiva con struttura a telaio in legno (estate 2011)	26
Fig. 22: Prefabbricazione con sistema a lastre in legno (ScanHaus Marlow GmbH 2012)	26
Fig. 23: Materiale termoisolante cellulosico (Ratgeberzentrale 2012)	28
Fig. 24: Strato antigelo in materiale riciclato dopo la posa in una strada.....	31
Fig. 25: Esempio di demolizione decisamente non qualificata di un edificio (pixelio)	32
Fig. 26: Esempio di demolizione dopo la rimozione del sistema termoisolante a cappotto.....	33
Fig. 27: Trattamento della frazione di materiale di demolizione misto (riferimento percentuali: % in peso rispetto a input totale)	39
Fig. 28: Trattamento della frazione di materiale di demolizione calcestruzzo (% in peso, riferito all'input totale).....	39
Fig. 29: Risultati per la categoria cambiamento del clima (effetto serra)	45
Fig. 30: Risultati per la categoria potenziale di acidificazione	46

Fig. 31: Risultati per la categoria eutrofizzazione terrestre.....	46
Fig. 32: Risultati per la categoria polveri sottili	47
Fig. 33: Effetti ambientali dell'attività annua di demolizione in Alto Adige in valori medi per abitante (cittadini EU).....	48
Fig. 34: Analisi di sensibilità per l'effetto serra: considerazione della massa di collante nel sistema termoisolante a cappotto della struttura massiccia; isolamento della tipologia costruttiva leggera con polistirolo anziché con lana di roccia.....	49
Fig. 35: Analisi di sensibilità per il potenziale di acidificazione: considerazione della massa di collante nel sistema termoisolante a cappotto della struttura massiccia; isolamento della tipologia costruttiva leggera con polistirolo anziché con lana di roccia	50
Fig. 36: Risultati della categoria “cambiamento del clima” per le pareti esterne di entrambe le tipologie costruttive.....	62
Fig. 37: Risultati della categoria “cambiamento del clima” per le platee di fondo di entrambe le tipologie costruttive.....	63
Fig. 38: Risultati (cumulati) della categoria di effetti „Cambiamento del clima“ di entrambe le tipologie costruttive.....	63
Fig. 39: Risultati netti per la categoria “cambiamento del clima” per entrambe le tipologie costruttive ...	64
Fig. 40: Risultati della categoria “potenziale di acidificazione” per le pareti esterne di entrambe le tipologie costruttive.....	65
Fig. 41: Risultati della categoria “potenziale di acidificazione” per le platee di fondo di entrambe le tipologie costruttive.....	66
Fig. 42: Risultati cumulati per la categoria “potenziale di acidificazione” per entrambe le tipologie costruttive.....	66
Fig. 43: Risultati netti per la categoria “potenziale di acidificazione” per entrambe le tipologie costruttive.....	67
Fig. 44: Risultati per la categoria cambiamento del clima della parete esterna con diversi tipi di materiale isolante.....	69
Fig. 45: Risultati per potenziale di acidificazione della parete esterna con diversi tipi di materiale isolante.....	69
Fig. 46: Irraggiamento solare in Alto Adige (fonte: Hydrologis Bozen – www.hydrologis.eu).....	73
Fig. 47: Superficie dei pannelli PV installati (in m ²) secondo gli anni (scala log.)	75
Fig. 48: Superficie dei pannelli PV installati in Alto Adige in base a tecnologia e anno	76
Fig. 49: Tipi di collettori in Alto Adige	79
Fig. 50: Previsioni di evoluzione della quantità di rifiuti per i moduli fotovoltaici (in MW)	80
Fig. 51: MW installati in Alto Adige per impianti solari termici (cumulati)	80
Fig. 52: Sistema di raccolta e riciclaggio di PV Cycle.....	92
Fig. 53: Centri di raccolta di PV Cycle in Italia	93
Fig. 54: Centri di raccolta PV Cycle in Alto Adige	95
Fig. 55: Trattamento e riciclaggio di materiale inidoneo	102

Elenco tabelle

Tab 1: Tipologie costruttive secondo UNIEN ISO 13790:2008 12.3.1.2	5
Tab 2: Risultati dell'analisi a campione e del sondaggio di esperti.....	6
Tab 3: Mattoni per muratura (posteriore) (Schlagmann 2012)	8
Tab 4: Caratteristiche di blocchi in calcestruzzo (FH-Hildesheim 2012; BV Porenbetonindustrie e.V. 2011).....	9
Tab 5: Materiali compositi per mattoni secondo i dati di diversi produttori.....	11
Tab 6: Materiali termoisolanti plastici per pannelli (IpeG- Institut GmbH 2012)	16
Tab 7: Tipici materiali per costruzioni in legno secondo i dati di diversi produttori.....	24
Tab 8: Tipici materiali di materassini termoisolanti in plastica (IpeG- Institut GmbH 2012).....	27
Tab 9: Valori empirici di materiali da costruzione riciclati trattati (selezionati quasi per tipologia).....	29
Tab 10: Composizione dei materiali per costruzioni medio-pesanti (Ökobau dat, Institut Bauen und Umwelt (IBU)).....	36
Tab 11: Distribuzione di probabilità e composizione dei materiali termoisolanti considerati (Ökobau.dat, Institut Bauen und Umwelt (IBU))	37
Tab 12: Composizione dei materiali per costruzioni leggere (Ökobau.dat, Institut Bauen und Umwelt (IBU)).....	40
Tab 13: Riassunto dei materiali e delle % volumetriche dei prodotti in base alle tipologie costruttive	61
Tab 14: Evoluzione nel tempo di prestazioni e superficie dei moduli solari e dell'energia elettrica prodotta.....	75
Tab 15: Status quo degli impianti solari termici in provincia di Bolzano.....	78
Tab 16: Composizione delle celle di silicio cristallino (c-Si) (Fonte: Ökopol 2004; Hahne 2010)	81
Tab 17: Stima dei quantitativi di rifiuti relativi a celle di silicio cristallino in Alto Adige (c-Si).....	82
Tab 18: Composizione dei moduli a strato sottile (Fonte: PV Cycle 2007)	83
Tab 19: Stima dei flussi di rifiuti relativi a celle a film sottile (CdTe)	83
Tab 20: Impiego di materiale per collettori in kg/m ² di superficie.....	84
Tab 21: Impiego di energia per la produzione di moduli PV (Ökopol 2004).....	86
Tab 22: Sistemi di trattamento per moduli PV	88

Elenco abbreviazioni

EPS	Polistirolo espanso
PS	Polistirolo
PU	Poliuretano
XPS	Polistirolo estruso
G	Guadagno

1 Introduzione / Compiti

Nel 1992 da parte dell'Agenzia per l'ambiente è stato sviluppato un piano di risparmio energetico innovativo, mirato al miglioramento degli standard energetici per le nuove costruzioni nonché per gli edifici esistenti. Con il modello „CasaClima“ il fabbisogno di energia nel settore dell'edilizia e dell'abitazione e quindi il consumo di risorse fossili con relativi effetti negativi sul clima è destinato a essere ridotto in modo significativo.

Il secondo indirizzo del piano consisteva nel sostegno all'utilizzo diretto dell'energia solare. Si intendeva allora innanzitutto l'utilizzo dell'energia solare per la produzione di calore (riscaldamento di edifici; acqua calda). Successivamente la fotovoltaica ha acquistato sempre più importanza.

In alcuni anni, allorché i primi pannelli solari dovranno essere sostituiti e le prime CaseClima dovranno essere risanate o demolite, l'attuale politica energetica comincerà ad avere degli effetti di rilievo sulla gestione dei rifiuti. Già oggi si conferiscono i primi pannelli solari obsoleti nei centri di raccolta, già vi sono le prime CaseClima da risanare. Il sistema di gestione dei rifiuti deve dunque essere preparato ad affrontare questa evoluzione per garantire uno smaltimento dei flussi di rifiuti conforme alle direttive quadro sui rifiuti dell'UE.

Con il presente studio viene innanzitutto rilevata la situazione attuale della provincia di Bolzano facendo una stima grossolana delle tipologie costruttive e dei tipi di materiali con cui nel passato sono state realizzate le CaseClima. Analogamente si procede per i pannelli solari. Su queste basi nella seconda parte dello studio si valuta in che misura il sistema di gestione dei rifiuti dovrà indirizzarsi verso altri flussi ed altre composizioni di rifiuti.

In relazione alle conoscenze acquisite si dovrà eventualmente adeguare anche il sistema di consulenza vigente, con l'obiettivo di garantire, nella progettazione e nella realizzazione delle future CaseClima, non solo gli standard energetici, ma anche la possibilità di riutilizzo razionale, sotto il profilo economico ed ecologico, dei materiali di demolizione.

Il presente studio è stato realizzato in collaborazione con lo Studio Syneco di Bolzano, che ha partecipato all'elaborazione dei temi inerenti ai pannelli solari nonché alla rilevazione dello status quo riguardo alle CaseClima. Inoltre ha collaborato la Signora Bonadio nell'ambito della sua tesi di laurea.

I CaseClima

Problemi di demolizione e smaltimento

2 La struttura delle CaseClima e gli effetti riguardo a demolizione e smaltimento

Il marchio „CasaClima“ come sistema di certificazione per l'edilizia sostenibile è stato istituito e reso operativo nel 2002. In base a tale sistema si definiscono CaseClima gli edifici rispondenti a determinati standard o gradi di efficienza energetica. Le categorie in base alle quali si possono distinguere gli edifici con certificazione CasaClima sono tre, e precisamente:

- CasaClima ORO (casa da 1 litro): fabbisogno energia per riscaldamento $<10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- CasaClima A (casa da 3 litri): fabbisogno energia per riscaldamento $< 30 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- CasaClima B (casa da 5 litri): fabbisogno energia per riscaldamento $<50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Il fabbisogno specifico di energia della CasaClima di categoria B è dal 2011 lo standard minimo per le case di nuova costruzione.

In Alto Adige fino al febbraio 2012 sono state certificate **5.862 CaseClima**. Questa cifra si riferisce a nuove costruzioni e risanamenti nonché a case certificate prima del 2002 dall'Ufficio Aria e rumore della Provincia e successivamente integrate nella banca dati dell'Agenzia CasaClima. A partire dal 2008 sono stati certificati annualmente circa 1200 edifici, il che è da attribuire all'introduzione da parte della legge del bonus di cubatura negli interventi di risanamento termico di edifici. La stessa cifra è prevedibile anche per il 2012 per estrapolazione, in base ai dati disponibili per i mesi di gennaio e febbraio. Degli attuali 5.862 edifici certificati circa il 55% sono nuove costruzioni mentre ca. il 45% sono edifici risanati.

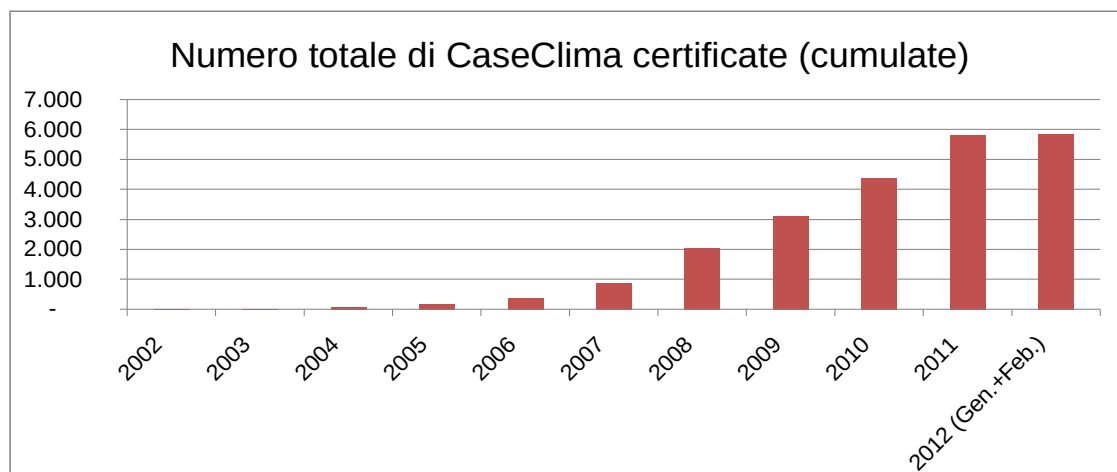


Fig.1: Numero totale di CaseClima certificate a Bolzano (cumulate)

Una CasaClima non descrive quindi uno stile architettonico o una tipologia costruttiva particolare di edificio. Ma per poter affrontare una discussione sugli effetti di futuri interventi di demolizione o di risanamento di edifici sui successivi stadi di trattamento e recupero bisogna distinguere tra le varie tipologie costruttive e i vari materiali da costruzione impiegati.

A tal fine da parte dei partner progettuali in loco sono stati elaborati i dati a disposizione dell'Ufficio provinciale aria e rumore nonché dell'Agenzia CasaClima s.r.l. di Bolzano. Tali dati costituiscono una base abbastanza ampia. Tuttavia è incontestabile che una gran quantità di

edifici, sia di nuova costruzione che soprattutto risanati, non hanno richiesto in passato alcuna certificazione e per tale motivo non sono compresi nella banca dati provinciale.

Questo fatto limita l'attendibilità delle affermazioni successive riguardo a tipologie costruttive e materiali da costruzione impiegati, dato che si può ipotizzare che abbiano richiesto la certificazione proprio gli interventi più ambiziosi sia sotto il profilo architettonico che della qualità dei materiali impiegati.

Tipologie costruttive

In generale una tipologia costruttiva può essere definita in base alla struttura dell'involucro esterno. Le strutture delle pareti esterne, per lo più stratificate, sono caratterizzate in base ai seguenti criteri:

- Lo scarico delle sollecitazioni avviene attraverso pareti massicce o strutture montanti
- Il necessario isolamento termico è garantito per mezzo di uno strato di coibentazione applicato esternamente o internamente
- Gli spessori di isolamento dipendono dalla conducibilità termica dei materiali isolanti
- La protezione contro gli agenti atmosferici è effettuata per mezzo di un ulteriore strato esterno (ad es. intonaco o rivestimento in legno)
- Nella struttura della parete deve essere garantita una tenuta impermeabile contro acqua in pressione

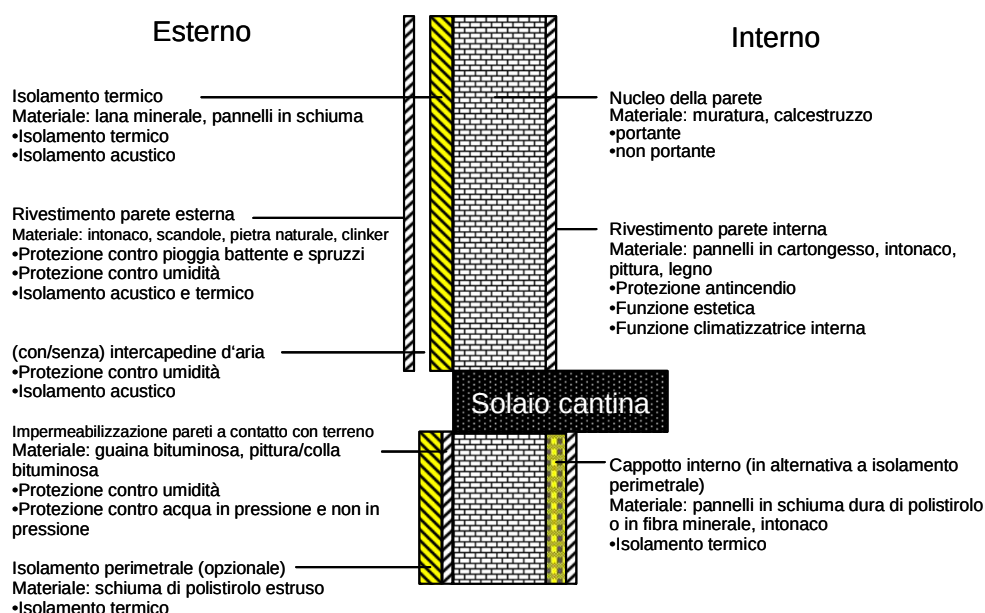


Fig.2: Struttura tipica delle pareti di un edificio con tipologia costruttiva massiccia (estate 2011)

La struttura tipica delle pareti di un edificio convenzionale con esigenze di funzionalità dei diversi materiali è riportata in Fig 2.

Nella seguente tabella sono riportate le tipologie costruttive tipiche come definite dall'Agenzia CasaClima in conformità alle norme UNIEN ISO 13790:2008 12.3.1.2.

Tab 1: Tipologie costruttive secondo UNIEN ISO 13790:2008 12.3.1.2

Tipologia costruttiva pesante	Tipologia costruttiva semipesante			Tipologia costruttiva leggera
	monolitica	sist. termoisol. a cappotto	in legno	
Costruzioni in pietra, struttura massiccia, pareti prefabbricate in cemento armato senza intercapedini coibentate	Muratura senza strato isolante aggiuntivo	Struttura intelaiata in calcestruzzo con tamponamento in muratura, muratura portante, EPS, XPS, etc.	Costruzione in legno massiccio: casa monoblocco, tronchi; assi di legno inchiodate o incollate, Xlam etc.	Struttura scheletrica portante (legno, metallo) con tamponamento in materiali termoisolanti; costruzione in calcestruzzo aerato autoclavato indurito a vapore

Tutte le schede segnaletiche dei singoli edifici contenuti nella banca dati dell'Agenzia CasaClima classificano gli stessi in base allo schema di Tab 1, dove sono anche riportate caratteristiche costruttive nonché materiali da costruzione. Non vi sono tuttavia interpretazioni riguardo alle questioni che interessano in progetto di ricerca. Sulla base dei diversi dati a disposizione non è altresì possibile alcuna interpretazione automatica.

La banca dati opera una distinzione solo tra i tipi di intervento edilizio: risanamento, nuova costruzione di casa prefabbricata, nuova costruzione di casa in legno e nuova costruzione; quest'ultima categoria è di gran lunga la prevalente. Per ottenere tuttavia una differenziazione in base alle tipologie di edificio è stata effettuata un'indagine a campione attribuendo le case della categoria „nuova costruzione“ ai tipi riportati nella Tab 1.

A tal fine da parte di Syneco sono stati esaminati i dati messi a disposizione dall'Ufficio Aria e rumore della Provincia. Il campione contiene dati di 584 edifici, corrispondenti a circa il 10% di tutte le CaseClima certificate a Bolzano. Il campione si riferisce però solamente a dati degli anni 2005 e 2006. Le tipologie di edifici rilevati nel campione possono tuttavia essere considerati rappresentativi per gli anni rimanenti, poichè, in base alle informazioni fornite dall'Agenzia CasaClima le tipologie costruttive per CaseClima a Bolzano non hanno subito praticamente variazioni nel tempo. Inoltre questa interpretazione è stata supportata da un sondaggio di esperti.

Tab 2: Risultati dell'analisi a campione e del sondaggio di esperti

TIPO DI COSTRUZIONE		Campione	Sondaggio esperti
costruzione pesante		5%	<5%
costruzione leggera		18%	5%
costruzione semipesante	monolitica	10%	
	sist. termois. a cappotto (laterizio)	61%	80-90%
	con legno	5%	

Il 45% delle CaseClima sono risanamenti energetici. Secondo le stime di esperti questi sono quasi sempre effettuati con l'impiego di un sistema termoisolante a cappotto. Se si considerano assieme nuove costruzioni e risanamenti in effetti la maggior parte delle CaseClima in provincia di Bolzano sarebbe dotata di un sistema termoisolante a cappotto, probabilmente nel caso di risanamenti di edifici esistenti anche in modo più diffuso nel tipo di costruzione pesante.

Materiali da costruzione

Partendo dall'involucro termico esterno delle esistenti CaseClima sono stati calcolati i volumi dei diversi materiali da costruzione, inserendo gli spessori medi degli strati di materiale e moltiplicandoli per la superficie dell'involucro termico esterno dell'edificio.

Secondo la valutazione degli esperti l'impiego di materiali da costruzione compositi è poco frequente, soprattutto a causa dei costi elevati (finora).

Sui materiali da costruzione esaminati si tornerà in seguito in occasione della discussione riguardo alle diverse tipologie di casa.

Materiali termoisolanti

L'interpretazione della banca dati dell'Agenzia CasaClima è stata effettuata nell'ambito del campionamento e solo per la tipologia costruttiva medio-pesante anche in base al materiale isolante impiegato per la coibentazione delle pareti esterne. Poiché talvolta in un edificio vengono impiegati diversi materiali termoisolanti, l'interpretazione è stata fatta sempre solo in base al materiale predominante.

Come risulta dall'interpretazione, nonostante essa sia stata fatta in base al materiale predominante, sussiste una grande varietà di materiali termoisolanti impiegati. In effetti dovrebbe comunque trattarsi in parte di artifici, come nel caso delle diverse denominazioni riportate EPS, Styropor, polistirolo, che in realtà si riferiscono più o meno allo stesso tipo di prodotto. Lo stesso si può dire per i pannelli in schiuma minerale e i pannelli minerali.

Dai risultati è emerso però anche che vi sono delle distribuzioni di frequenza assai differenti in relazioni alle varie tipologie costruttive, cosicché nella successiva discussione sulle stesse tipologie costruttive si affronta anche la problematica dei materiali termoisolanti.

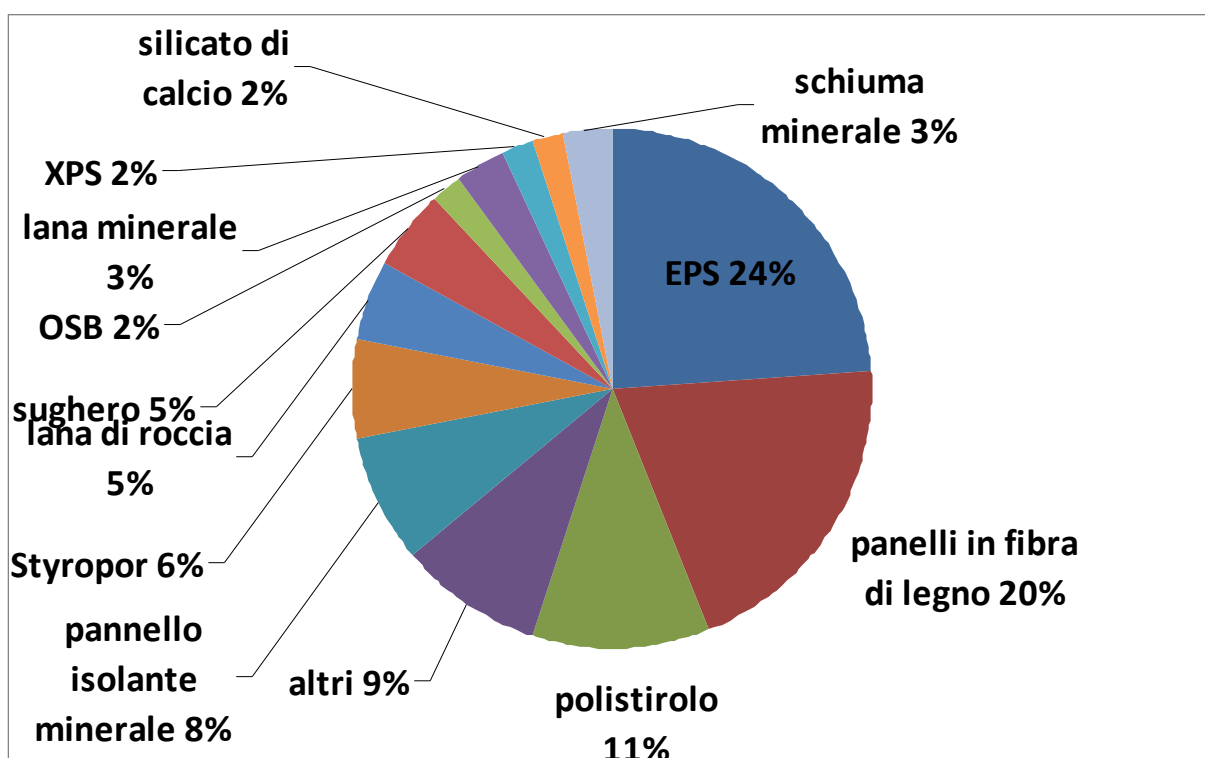


Fig.3: Materiali termoisolanti impiegati per isolamento di pareti esterne (rilevazione a campione)

2.1 Edifici di tipologia costruttiva massiccia (monolitica)

2.1.1 Tipologie costruttive

La tipologia costruttiva massiccia è un tipo di costruzione in cui la struttura portante verticale consiste principalmente in pareti massicce. Queste, al contrario della cosiddetta struttura a scheletro, svolgono in modo continuativo una funzione statica portante. Non viene fatta alcuna distinzione tra funzione portante e funzione divisoria tra i locali.

2.1.2 Materiali da costruzione e materiali termoisolanti

Nella tipologia costruttiva massiccia monolitica vengono impiegati solo componenti massicci senza isolamento termico aggiuntivo. In virtù dell'esecuzione più massiccia i componenti strutturali massicci svolgono un compito sia portante che di isolamento termico. In confronto con la tipologia costruttiva con sistema termoisolante a cappotto questi materiali da costruzione presentano tendenzialmente delle caratteristiche di coibentazione peggiori. Con una minore densità dei materiali da costruzione, inoltre, la resistenza statica è limitata. Di conseguenza ciò comporta che gli spessori delle pareti siano notevolmente maggiori (fino a 40 cm) che nel caso della struttura massiccia con sistema termoisolante a cappotto.

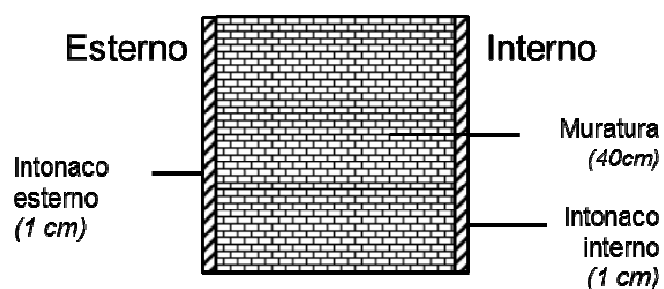


Fig.4: Strutture delle pareti di una casa passiva di struttura monolitica (estate 2011)

Di seguito vengono riportati valori di densità e di conducibilità termica (λ R) nell'esempio di materiali da costruzione e isolanti. La densità è, soprattutto per i materiali da costruzione, un indice della resistenza del materiale. Quanto maggiore è la densità, tanto maggiore è la resistenza meccanica. Ma la densità influenza anche la conducibilità termica. Quanto minore è la densità, tanto minore è in genere la conducibilità termica.

Tab 3: Mattoni per muratura (posteriore) (Schlagmann 2012)

Caratteristiche	Peso specifico [t/m ³]		λ R [W/mK]	
	min.	max.	min.	max.
Mattoni lisci	0,71	0,80	0,18	0,39
	0,91	1,00		0,45
Mattoni porizzati (pareti interne)	0,71	0,80		0,39
	0,81	0,90		0,42
	0,91	1,00		0,45
	1,11	1,20		0,50
	1,31	1,40		0,58
Mattoni porizzati (pareti esterne)		0,65		0,12
		0,70		0,14
		0,80	0,16	0,21



Fig.5: Impiego di mattoni porizzati (Ufficio aria e rumore, Provincia di Bolzano 2012)

I materiali da costruzione più comuni sono i **mattoni** in argilla cotta. I mattoni pieni o da rivestimento vengono impiegati di norma solo all'esterno per il rivestimento della facciata. I mattoni porizzati non da rivestimento sono tra i materiali da costruzione più frequentemente usati nelle strutture massicce. Questo tipo di laterizio viene impiegato come elemento costruttivo portante per pareti interne ed esterne. Per ridurre il peso e per migliorare le caratteristiche termoisolanti i mattoni sono provvisti del maggior volume di pori possibile.

Classicamente le pareti in **calcestruzzo** sono realizzate o con calcestruzzo gettato in opera o con idonei elementi prefabbricati. Il cosiddetto „calcestruzzo normale“ tra tutti i materiali di struttura massiccia possiede la densità maggiore e anche la resistenza maggiore, ma anche le migliori caratteristiche termoisolanti, cosicché il calcestruzzo normale viene utilizzato per le pareti esterne solo in combinazione con un sistema termoisolante a cappotto.

Tab 4: Caratteristiche di blocchi in calcestruzzo (FH-Hildesheim 2012; BV Porenbetonindustrie e.V. 2011)

Caratteristiche	Peso specifico [t/m³]		λ R [W/mK]	
	min.	max.	min.	max.
Calcestruzzo normale	2,000	2,800	2,00	2,10
Calcestruzzo alleggerito				
Calcestruzzo alleggerito compatto con granulo poroso	0,600	2,000	0,10	0,16
Calcestruzzo alleggerito poroso con additivi porizzanti	~0,400			
Calcestruzzo aerato autoclavato	0,330	0,840	0,10	0,29

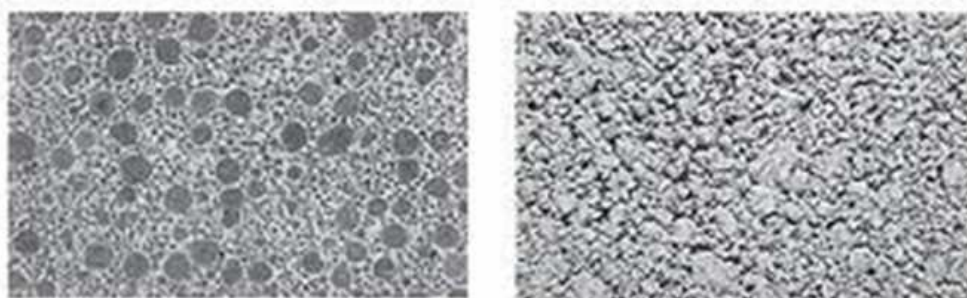


Fig.6: Esempi di calcestruzzo alleggerito - struttura compatta/porosa (BauNetz Media GmbH)



Fig.7: Blocco per muratura in calcestruzzo aerato autoclavato (Carl Schlenk AG 2012)

Nella produzione di „calcestruzzo alleggerito“ al fine di migliorare le caratteristiche termoisolanti e di ridurre il peso vengono aggiunti degli additivi. Nel calcestruzzo alleggerito si distingue tra struttura „compatta“ e „porosa“. Il calcestruzzo alleggerito a struttura compatta viene prodotto con granulometrie inerti „leggere“ e presenta una superficie chiusa, compatta. Il calcestruzzo alleggerito poroso viene invece prodotto con una speciale miscela di inerti a granulometria graduata che fa sì che tra di essi si formino degli spazi pieni d'aria.

Il cosiddetto „Porenbeton“ non è un vero e proprio calcestruzzo in senso stretto, in quanto non contiene granulometrie inerti come sabbia e ghiaia. Esso è un materiale da costruzione leggero, altamente poroso, con resistenza meccanica ridotta, a base di calce e sabbia quarzifera in polvere nonché cemento e piccole quantità di polvere di alluminio. In Germania oltre la metà di questi blocchi viene venduta con il marchio Ytong.

Un'altra variante migliorativa delle caratteristiche termoisolanti dei blocchi per muratura di struttura massiccia è rappresentata dai cosiddetti materiali da costruzione compositi. **I materiali da costruzione compositi** consistono in una combinazione di materiali „massicci“ con materiali termoisolanti (all'interno). Diversamente da una struttura massiccia nel sistema termoisolante a cappotto i materiali termoisolanti non sono posizionati sul lato esterno o interno dell'edificio, ma all'interno dei materiali da costruzione stessi. Questi hanno al centro delle camere vuote di varia forma che vengono riempite con diversi materiali termoisolanti.

Questo tipo di materiali da costruzione, secondo quanto riferiscono gli esperti e sulla base delle verifiche tecniche effettuate nell'ambito dello studio, è pochissimo diffuso sul mercato nella provincia di Bolzano, al contrario della Germania dove ha invece incontrato una grande diffusione.

I materiali impiegati si differenziano a seconda del produttore. Così sono offerti sul mercato mattoni in argilla di forme diverse, riempiti con lana di roccia, perlite, polistirolo o sughero. Vi sono inoltre blocchi per muratura in calcestruzzo alleggerito o porizzato riempiti con lana di roccia o con un nucleo in schiuma dura. Questi riempimenti isolanti vengono (in caso di isolamento pieno) „infilati“ o (in caso di isolamento in plastica) colati nel blocco durante la fabbricazione del materiale costruzione composito.



Fig. 8: Materiale da costruzione composito “Bisomark” in calcestruzzo alleggerito con nucleo in schiuma dura (Bisotherm GmbH 2012)

Tab 5: Materiali compositi per mattoni secondo i dati di diversi produttori

Caratteristiche	Classe densità	λ R [W/mK]	
		min.	max.
ThermoPlan (mattoni in argilla con riempimento in lana di roccia)	0,60	0,07	0,10
POROTON (mattoni in argilla con riempimento in perlite)	0,60	0,07	0,09
GISOTON (mattoni in argilla con riempimento in NEOPOR (polistirolo))	0,80	0,10	0,13
KLIMANORM PLUS (Porenbeton con lana di roccia)	?	0,075	0,103
KLB KALOPOR (calcestruzzo alleggerito con lana di roccia)	0,4 - 0,6	0,08	0,11
BISOMARK (pietra pomice con nucleo in schiuma dura di PS)	0,35 – 0,50	0,06	0,08



Fig. 9: Sistema composito KALOPOR con isolamento in lana minerale (Klimaleichtblock GmbH 2012)

2.1.3 Possibilità di demolizione

Se la casa deve essere totalmente risanata o interamente demolita, si adottano le strategie di demolizione classiche. Poichè in genere non viene impiegata una grande varietà di materiali da costruzione, nella demolizione va applicata una normale pratica di selezione. Come sempre, prima della demolizione meccanica vera e propria, l'edificio va svuotato internamente asportando tutti i componenti e i materiali problematici sotto il profilo ambientale e fisico-strutturale.

Dopo aver rimosso gli allestimenti interni e il tetto dell'edificio si possono demolire in modo convenzionale le pareti massicce. A seconda del tipo di materiale e di struttura si possono impiegare escavatrici con benne di tipo semplice (in caso di murature in mattoni) o pinze idrauliche (in caso di calcestruzzo).

Dato che i calcestruzzi di tipo normale tendenzialmente trovano impiego nei solai di piano e nelle platee di fondazione, nella maggior parte dei casi non è razionale operare una separazione tra calcestruzzo e muratura. La situazione si presenta problematica quando siano stati impiegati materiali da costruzione compositi. In tal caso non è possibile effettuare in cantiere una separazione tra materiali minerali e non minerali. L'intera massa di materiali, compresi i componenti estranei non minerali, deve essere avviata agli impianti di riciclaggio di materiali di demolizione per ulteriori trattamenti. Come per tutti i rifiuti contenenti materiali estranei questa operazione comporta per l'impresa di demolizione elevati costi di smaltimento.

2.1.4 Effetti sul pretrattamento e sul recupero dei rifiuti di demolizione

Come risulta dalla **Fig. 8** la percentuale in volume di sostanze estranee nei **materiali da costruzione compositi** è relativamente elevata. Anche se non vi sono dati precisi a riguardo, tale percentuale in volume dovrebbe essere dell'ordine del 50 % e oltre. Un materiale di questo tipo non può essere impiegato, in assenza ulteriori pretrattamenti, come materiale da costruzione, né essere smaltito in discarica a causa del suo contenuto di organico spesso elevato. Pertanto è assolutamente indispensabile un trattamento specifico.

Dato che i materiali da costruzione compositi sono presenti sul mercato e sono quindi impiegati nell'edilizia solo da poco tempo, non vi sono esperienze a riguardo. Pertanto si possono fare solo delle considerazioni/stime approssimative. Il metodo di trattamento deve in generale essere sempre adeguato ai componenti demoliti, distinguendo tra materiale costruzione composito con riempimento isolante in lana minerale, in polistirolo (PS) e in perlite.

I materiali di demolizione di questo tipo conferiti agli impianti di trattamento devono, in caso di riempimenti in lana minerale e plastica, necessariamente essere accumulati separatamente dagli altri tipi di materiali. Qui vi è la possibilità di iniziare, già al momento dell'accumulo, con una selezione manuale, in quanto dalla demolizione grossolana i materiali più „elastici“, come ad esempio la lana minerale, rimangono di dimensioni abbastanza grandi e quindi possono essere separati facilmente.

Eventualmente la separazione può essere migliorata conferendo separatamente il materiale all'impianto di riciclaggio ed effettuando il primo trattamento di frantumazione in modo „delicato“, con la speranza di poter concentrare il materiale, nella successiva fase di vagliatura, soprattutto nella frazione grossolana. Esso dovrebbe poi necessariamente essere avviato ad un successivo separatore di materiali leggeri (vedi cap. 2.2.4).

I separatori di materiali leggeri a umido sono idonei solo nel caso in cui le frazioni minerali dei materiali da costruzione compositi abbiano un peso specifico notevolmente superiore rispetto all'acqua. In caso di materiali più leggeri, come ad es. la pomice, questi potrebbero galleggiare assieme ai materiali termoisolanti, cosicché non vi sarebbe alcuna separazione tra i flussi di materiali diversi. I separatori di materiali leggeri a secco (separatori pneumatici) sono più idonei nel caso di materiali minerali leggeri, in quanto la selezione può essere meglio regolata in base alle caratteristiche specifiche del materiale in ingresso.

Un trattamento qualificato del materiale costruzione composito con riempimento non minerale, a causa delle attrezzature impiantistiche aggiuntive necessarie, risulta possibile solo con un impianto tecnicamente molto ben calibrato.

Quello che presenta meno problemi è il trattamento di materiale costruzione composito con riempimento in perlite (espansa). Poiché la perlite è un materiale minerale, non rientra nella categoria „sostanze estranee“. La perlite consiste in vetro vulcanico espanso per via termica fino ad un diametro molte volte superiore a quello originale. In tal modo esso raggiunge un peso specifico molto ridotto ($\sim 0,05 - 0,1 \text{ t/m}^3$) e ottime caratteristiche termoisolanti. Per quanto riguarda la tecnologia di trattamento le perliti espanse possono perciò essere trattate assieme ad altri materiali minerali leggeri. A parte la loro bassa densità e quindi la loro ridotta resistenza meccanica, esse non presentano altre caratteristiche negative (rigonfiamento, congelamento esplosivo, ecc.).

Se nell'impianto di trattamento di materiali di demolizione vengono prodotti materiali da costruzione pregiati e con caratteristiche definite, in particolare con elevato peso specifico, è opportuno separare la perlite per mezzo di una vagliatura preliminare. È possibile che già nel cantiere di demolizione nelle fasi di lavoro con le benne separatrici la perlite rimanga sul posto nel terreno o nella frazione fine. Un trattamento qualificato di tali materiali da costruzione compositi dovrebbe essere possibile anche con impianti tecnicamente non sofisticati.

Per tutti i **materiali da costruzione convenzionali** non risultano particolari effetti sulla concezione tecnica degli impianti di trattamento di materiali di demolizione.

2.2 Edifici di tipologia costruttiva massiccia con sistema termo-isolante a cappotto

2.2.1 Tipi di struttura e materiali

Per struttura massiccia con sistema termoisolante a cappotto si intende una parete in muratura massiccia sulla quale viene applicato un isolamento termico per lo più all'esterno. La parete in muratura assume soltanto caratteristiche portanti, mentre le caratteristiche isolanti sono assunte dai materiali termoisolanti. Lo spessore della muratura nonché quello dell'isolamento termico variano a seconda dei materiali impiegati e, per quanto riguarda i materiali termoisolanti, a seconda delle caratteristiche isolanti desiderate.

Per la muratura in sè possono essere impiegati tutti i materiali da costruzione classici. Tipici sono ad esempio i mattoni in laterizio (anche di bassa porosità) nonché, soprattutto, il normale calcestruzzo. In particolare nel caso di grandi edifici le pareti (portanti) in calcestruzzo nella tipologia costruttiva a scheletro vengono realizzate con elementi prefabbricati o con lastre in cemento armato. Anche in caso di impiego di mattoni in laterizio può essere impiegato un sistema di costruzione ad elementi prefabbricati composti.

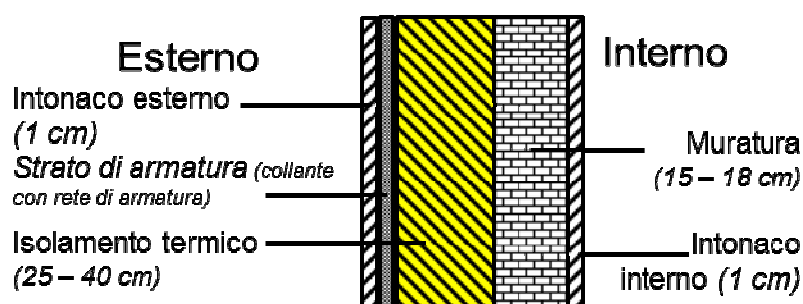


Fig.10: Parete di casa passiva di struttura massiccia con sistema termoisolante a cappotto
(estate 2011)

L'isolamento termico viene incollato sulla muratura, in genere in combinazione con un fissaggio mediante tassellatura. Il tipo di fissaggio dipende dal tipo di materiale isolante e di rivestimento impiegato. Tipico è l'incollaggio con tassellatura aggiuntiva.

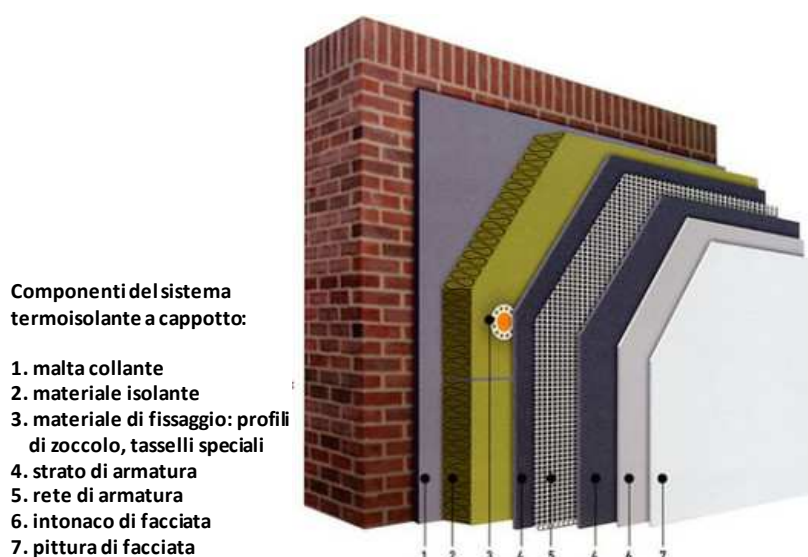


Fig.11: Sistema termoisolante a cappotto incollato e tassellato su muratura in mattoni (Renovationprofis 2011)

2.2.2 Materiali termoisolanti impiegati

L'interpretazione della banca dati CasaClima presenta un impiego prevalente di materiali termoisolanti di diverso tipo in plastica, pannelli in materiale minerale e pannelli in fibra di legno o simili. L'elevata quota di „diversi“ è indicativa della varietà di possibili materiali termoisolanti impiegati. In caso di strutture massicce con sistema termoisolante a cappotto vengono impiegati per lo più materiali termoisolanti in pannelli.

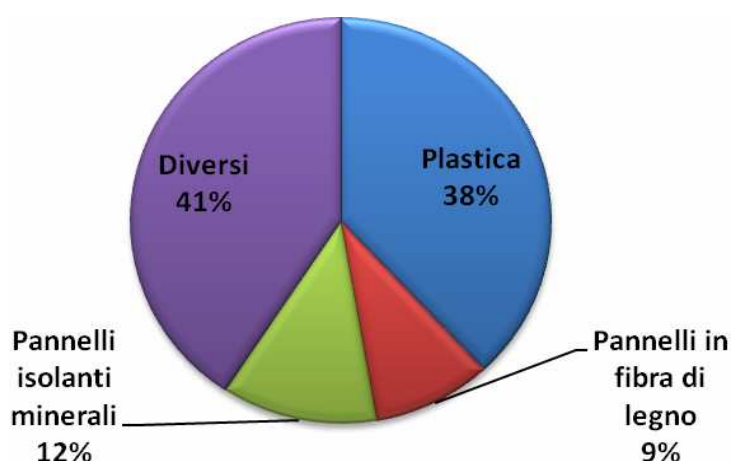


Fig. 12: Materiali termoisolanti in un sistema termoisolante a cappotto

Tra i pannelli isolanti in plastica dominano quelli in polistirolo ed in particolare in polistirolo espanso. In base ai dati disponibili dalle analisi a campione la quota con questa tipologia costruttiva è attualmente dell'ordine del 95%.

Se i pannelli isolanti sono a base di legno in base ai dati disponibili dalle analisi a campione con queste tipologie costruttive si ha una quota preferenziale analoga del 90% per i pannelli in fibra di legno.

Oltre a questi materiali organici vengono impiegati anche pannelli isolanti minerali, ad esempio a base di calcestruzzo aerato autoclavato (porenbeton) ad alta porosità.

Tab 6: Materiali termoisolanti plastici per pannelli (IpeG- Institut GmbH 2012)

Caratteristiche Prodotto	Densità [kg/m ³]		λ R [W/mK]	
	min.	ax.	min.	max.
Isolamento a vuoto (silice amorfa/pirogena)	150	210	0,007	0,016
Schiuma dura di resina fenolica „PF“ (resina di fenoloformaldeide)	20	100	0,022	0,025
Schiuma dura di poliuretano „PUR“ (polietere-polioli-poliuretano)	30	45	0,024	0,031
Polistirolo (estruso/espanso) „E-/X-PS“ (polistirolo)	20	300	-	0,032
Pannello in lana di vetro (vetro riciclato/vetro al borosilicato)	10	200	0,032	0,033
Pannello in lana di roccia (pietra naturale/pietra artificiale/resine formaldeidiche)	90	165	0,032	0,035
Cemento piluretanico (poliuretano/cemento)	200	700	0,036	0,10
Pannello isolante minerale „Porenbeton“ (calce, sabbia, cemento, acqua)	90	130	0,042	0,045
Pannello isolante in perlite espansa (perlite grezza vulcanica, legante)	90	105	-	0,045
Schiuma di gesso (gesso riciclato, additivo antifiamma)	-	-	-	0,045
Pannello in vetro cellulare „Foam“ (sabbia quarzifera/carbonato di calcio)	-	165	-	0,050
Pannello in silicato di calcio (silicati di calcio porosi/ossido di calcio/ossido di silicio)	200	240	0,060	0,067
Pannello in granulato di EPS riciclato legato con cemento (granulato di polistirolo)	-	200	-	0,060



Fig. 13: Isolamento della parete esterna con polistirolo



Fig. 14: Isolamento della parete esterna con pannelli isolanti in fibra di legno (Ufficio aria e rumore, Provincia di Bolzano)

2.2.3 Possibilità di demolizione

Murature con sistemi termoisolanti a cappotto basati su polistiroli o legno presentano una percentuale talmente elevata di materiali estranei nei rifiuti minerali, da rendere indispensabile una prima selezione già nel cantiere di demolizione. Il sistema termoisolante a cappotto deve essere separato in modo selettivo addirittura prima della demolizione della parete in muratura massiccia.

La separazione, se vi è spazio sufficiente attorno all'edificio, può essere effettuata meccanicamente con una escavatrice provvista di una cosiddetta benna selettiva. Quest'ultima consiste in una benna bivalve appositamente sviluppata per la demolizione selettiva, collegata al sistema idraulico della escavatrice e orientabile in tutte le direzioni. Per mezzo di tale benna selettiva è possibile quasi "scorticare" il sistema termoisolante a cappotto, purché si faccia attenzione, nel contatto con la parete, a non esercitare un'eccessiva pressione. Ciò potrebbe costituire un problema, non tanto nel caso di pareti in calcestruzzo, quanto piuttosto di murature in mattoni. Ma come dimostrano le foto relative a casi pratici, questo metodo è possibile anche in queste condizioni limite (vedi Fig. 15 e Fig. 16).



Fig. 15: Esempio di escavatrice con benna selettiva (pixelio 2012)

Ai piedi di una parete di questo tipo si dispone, di norma, un telo di plastica in modo che il polistirolo staccato dalla parete rimanga separato dal terreno e si possa conferire il tutto ad uno smaltimento separato (trattamento termico). Se si adotta un adeguato sistema di demolizione selettiva dell'edificio, sarà possibile rimuovere preventivamente anche le eventuali moquette, utilizzandole per lo stesso scopo invece dei teli di plastica.



Fig. 16: Impiego della benna selettiva per la demolizione di un sistema termoisolante a cappotto



Fig. 17: Parete massiccia in muratura con resti di fissaggi di un sistema termoisolante a cappotto

L'impiego di un'escavatrice è possibile solo se nel cantiere vi è spazio sufficiente, altrimenti è necessario utilizzare un ponteggio o una piattaforma sollevabile. In tal caso si dovrà staccare il sistema termoisolante a cappotto dalla parete massiccia manualmente con l'aiuto di piccoli attrezzi.

Questa demolizione selettiva con separazione preliminare del sistema termoisolante a cappotto dalla massa di residui minerali è indispensabile se si vuole consentire un trattamento a regola d'arte negli stadi successivi. Poichè i pannelli isolanti di norma non sono solo fissati con tasselli, ma sono anche incollati, non è più possibile una separazione pulita e affidabile nell'impianto di trattamento del materiale di demolizione. Poichè al materiale minerale demolito restano attacca-

te parti in plastica, non è possibile effettuare una separazione mediante impianti selettori di materiali leggeri, sia che si impieghino sistemi a umido che sistemi a secco.

Dopo la separazione del sistema termoisolante a cappotto rimangono, a seconda del sistema di fissaggio, ancora piccole quantità di collanti e resti di materiali termoisolanti. Questi vanno poi separati dal resto del materiale in fase di trattamento delle masse di materiale di demolizione.

Se si impiegano pannelli isolanti minerali, questo onere aggiuntivo nella demolizione dell'edificio può essere evitato se l'impianto di trattamento dei materiali di demolizione è adeguatamente dimensionato. Poiché si tratta infatti di materiale minerale, esso non contamina la massa quale „materiale estraneo“, anche se a dire il vero il calcestruzzo aerato autoclavato o porenbeton non è un materiale molto gradito per la produzione di prodotti di riciclaggio.

2.2.4 Effetti sul pretrattamento e sul recupero dei rifiuti di demolizione

Se, come precedentemente descritto, si effettua una demolizione selettiva del sistema termoisolante a cappotto, i requisiti del successivo trattamento sono circa gli stessi che per il trattamento di rifiuti di demolizione minerali classici. Per lo più, però, si devono calcolare maggiori quantitativi di materiali estranei dovuti a resti del sistema termoisolante a cappotto e quindi maggiori oneri legati alla separazione di tali materiali estranei.

I residui di sistemi termoisolanti a cappotto o di materiali di fissaggio, quali collanti e tasselli, rimanenti nella massa di materiali, anche in caso di demolizione selettiva, devono essere separati dopo la fase di frantumazione vera e propria. A tal fine esistono diversi metodi, e precisamente:

- trattamenti a umido
- trattamenti a secco
- trattamenti manuali

Con **trattamento a umido** si intende la separazione automatica di materiali estranei „leggeri“ (fogli di plastica, legno, materiali termoisolanti, etc.) attraverso una cosiddetta separazione di densità a umido. Poiché i materiali da costruzione hanno una densità notevolmente superiore rispetto ai materiali estranei, le due frazioni possono essere in linea di principio separate in un bagno d'acqua. A tal fine è tuttavia necessaria una preventiva separazione dei materiali fini. Poiché i materiali estranei non sempre sono in forma „sciolta“, ma sono attaccati a frammenti minerali, anche questa forma di trattamento presenta delle percentuali di successo limitate.

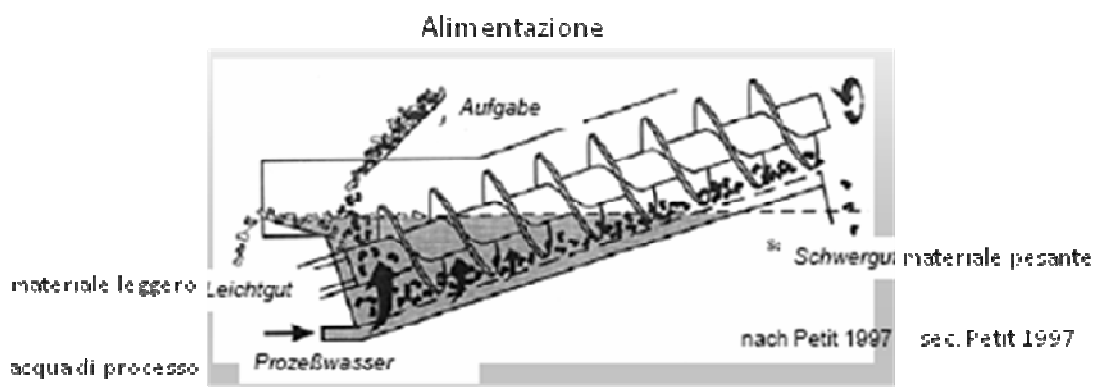


Fig. 18: Struttura schematica di un selettore a coclea (PETIT 1997)

Un esempio di trattamento a umido è il cosiddetto separatore o selettore a coclea, che consiste in una vasca inclinata nella quale ruota una coclea provvista di lame e spirali. Il materiale da selezionare viene immesso nella vasca piena d'acqua all'estremità inferiore della coclea; questa trascina poi il materiale verso l'alto sottoponendolo ad un intenso rimescolamento e scioglimento.

L'acqua di lavaggio immessa in controcorrente tramite appositi ugelli fa sì che i materiali estranei vengano espulsi da una lamiera sfioratrice regolabile. Il materiale ripulito viene trascinato dalla coclea fuori dal bagno d'acqua e contemporaneamente disidratato.

Un'altra soluzione tecnica è rappresentata dai classificatori a corrente ascendente, ossia vagli vibranti che vengono alimentati con acqua in controcorrente. Un Aquamator consiste in un nastro trasportatore che viene alimentato dall'alto. Il materiale viene irrorato d'acqua tramite ugelli spruzzatori (pressione minima 3 bar). Il materiale leggero, non minerale, viene dilavato nella direzione opposta a quella di trasporto per effetto della pendenza del nastro, mentre il materiale minerale pesante viene espulso all'estremità del nastro trasportatore.

Per **trattamento a secco** si intende la separazione automatica di materiali estranei „leggeri“ (fogli di plastica, legno, materiali termoisolanti, etc.) mediante un selettore pneumatico. Anche in questo caso, come nel trattamento a umido, si sfrutta la differenza di densità (o di peso specifico) dei materiali.



Fig. 19: Esempio di separatore pneumatico (Fa. City Equip, 2008)

Nel separatore pneumatico il materiale viene investito da un flusso d'aria regolabile che soffia via i materiali più leggeri. Si distinguono sostanzialmente tre differenti tipi di separatore pneumatico, e precisamente:

- Separatore pneumatico a tubo verticale
La separazione ha luogo in un pozzetto verticale. Il materiale pesante cade verso il basso in direzione contraria al flusso d'aria. Il materiale più leggero viene invece soffiato in alto dal flusso d'aria (vedi Fig. 19)
- Separatore a zig-zag (variante del separatore pneumatico a tubo verticale)
Il canale rettangolare nel quale passa il flusso d'aria ascendente è suddiviso in più tratti di tubo per mezzo di pareti disposte a zig-zag. Il flusso d'aria che trascina le particelle leggere viene deviato dalle pareti a zig-zag dove le parti più pesanti vengono ulteriormente separate.
- Separatore a letto fluido (variante del separatore pneumatico a tubo verticale)
In questo caso la camera attraversata dall'aria è a forma di cilindro che si restringe a cono verso l'alto, da dove viene introdotto il materiale misto da separare.
- Separatore pneumatico a flusso orizzontale
A differenza del separatore pneumatico a tubo verticale (nelle sue varie versioni) qui il flusso d'aria è orizzontale. Le particelle solide cadono dall'alto in questo flusso d'aria e vengono deviate in modo diverso a seconda del peso e della resistenza dell'aria. Le parti più pesanti o compatte cadono direttamente verso il basso, le altre vengono invece trascinate dalla corrente d'aria; mediante diversi dispositivi di captazione disposti nella parte bassa del separatore, il materiale può essere così suddiviso in diverse frazioni.

In linea di principio tutti i tipi di trattamento descritti possono essere realizzati sia con impianti stazionari che con impianti mobili. Tuttavia, poiché il successo del trattamento dipende dalla possibilità di combinare assieme diversi componenti impiantistici in modo da ottenere un sistema coordinato ottimale, nella pratica ciò si può ottenere solo in impianti di tipo stazionario.

Se come materiali termoisolanti vengono impiegati pannelli isolanti minerali e questi vengono separati preliminarmente in cantiere, la cosa più opportuna è smaltirli in discarica. I materiali termoisolanti in fibra minerale, vetro cellulare, silicato di calcio o schiuma di gesso non hanno caratteristiche fisico-costruttive tali da renderli convenientemente utilizzabili come sottoprodotti per la costruzioni di strade o simili. Al contrario, proprio i materiali da costruzione a base di gesso avrebbero effetti notevolmente negativi sotto il profilo costruttivo.

Se i pannelli isolanti facenti parte della miscela di rifiuti minerali vengono avviati ad un impianto di trattamento di materiali di demolizione, questi componenti vanno ad arricchire soprattutto le frazioni fini, almeno per le quote che già sono state polverizzate in fase di demolizione e trasporto. Se a monte dell'impianto vi è una vagliatura preliminare, questi componenti sono presenti in piccola quantità nel prodotto finale sabbioso, mentre sono prevalenti nel materiale di prevagliatura e quindi in una frazione destinata di norma ad essere utilizzata o smaltita in discarica. Eventuali pezzi di maggiori dimensioni possono essere separati in cantiere per via manuale dal cumulo di rifiuti iniziale.

2.3 Edifici con struttura in legno massiccio

2.3.1 Tipologie costruttive

La struttura in legno massiccio è una particolare tipologia costruttiva che si distingue da altre tipologie costruttive in legno, come quelle a struttura a scheletro o ad intelaiatura in legno, per la sua struttura continua ad elementi massicci.

La struttura in legno massiccio è costituita da pareti in legno lamellare o simile che formano, con l'isolamento termico esterno (involucro termico di 25 - 40 cm di spessore) nonché con la protezione contro le intemperie (per lo più un rivestimento in legno), un sistema termoisolante a cappotto. La parete può essere costituita anche da singoli elementi di parete incollati o fissati con tasselli in modo incrociato. In caso di parete in tavolati di legno l'intera parete in legno massiccio agisce staticamente come un'unica lastra.

La struttura della parete in legno massiccio possiede una migliore capacità di accumulo termico rispetto alla tipologia costruttiva a intelaiatura in legno, anche se ha lo svantaggio di un maggiore consumo di legno e spessore di parete a parità di potere termoisolante. La tipica struttura della parete della tipologia costruttiva in legno massiccio è raffigurata in Fig. 20.

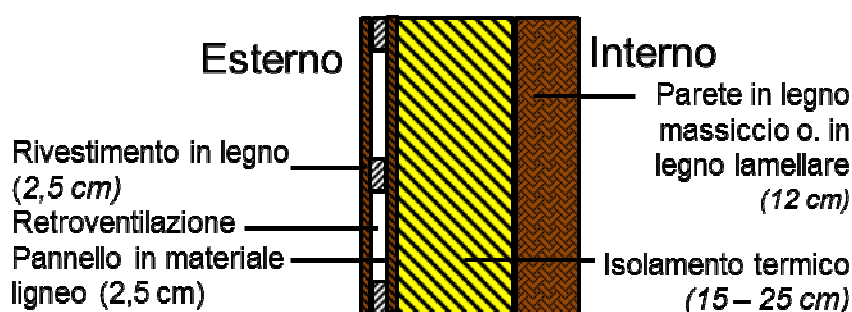


Fig. 20: Struttura sistematica di parete esterna di casa passiva con struttura in legno massiccio (estate 2011)

2.3.2 Materiali da costruzione e materiali termoisolanti

A differenza della tipologia costruttiva massiccia nella tipologia costruttiva in solo legno non sono impiegati materiali da costruzione minerali. La funzione portante della costruzione è assunta da soli materiali in legno massicci o anche incollati. Nella tipologia costruttiva in legno massiccio possono essere impiegati (a differenza di quanto il nome farebbe supporre) sia materiali da costruzione in legno massiccio che in cosiddetto legno lamellare.

Tab 7: Tipici materiali per costruzioni in legno secondo i dati di diversi produttori

Caratteristiche		Densità [kg/m³]		λ R [W/mK]	
		min.	max.	min.	max.
Legno pieno	rovere	0,650	0,900	0,13	0,21
	faggio	0,700	0,900	0,16	0,20
	abete	0,410	0,600	0,10	0,14
Legno lamellare	conifera	0,380	0,410	0,13	0,15
	latifoglia	~0,650			
Pannelli OSB (in truciolare grossolano)		0,550	0,700	0,13	0,17
Pannello in fibra di legno	duro	-	1,000	-	0,17
	tenero	0,200	0,300	0,05	0,06

Il legno lamellare (denominato in breve anche legno BS o BSH) è un prodotto industriale per strutture portanti. Il legno lamellare consiste come minimo in tre tavole a fibre parallele (o lamelle) in legno di conifera o di latifoglia incollate tra loro ed essiccate. Grazie alla selezione del materiale di partenza ed all'effetto di omogeneizzazione dovuto alla struttura stratificata il legno lamellare ha capacità di resistenza meccanica superiori fino al 50% rispetto al normale legno da costruzione. È un materiale che, a seconda delle modalità di produzione, è più o meno indeformabile e resistente alla fessurazione.

In base all'interpretazione del campione esaminato in questa tipologia costruttiva vengono impiegati come materiali termoisolanti soprattutto pannelli in fibra di legno, posizionati tra un rivestimento esterno in legno e la parete massiccia sempre in legno.

2.3.3 Valutazione delle possibilità di demolizione e di trattamento

La demolizione di manufatti con struttura in legno può essere effettuata in linea di principio nello stesso modo (non) selettivo dei manufatti con struttura massiccia di altro tipo. In questo caso sia i materiali della parete esterna portante che i materiali termoisolanti sono in legno.

Qualora si presentassero delle possibilità di riutilizzo diverse dall'impiego esclusivo come combustibile, può essere sensato separare i pannelli in fibra di legno dalla rimanente massa di materiali lignei.

In questa tipologia costruttiva gli elementi minerali sono costituiti in genere dalla platea di fondazione o dall'eventuale scantinato nonché dai solai di piano. Nella demolizione di questo tipo di edifici tali materiali minerali vanno mantenuti separati dalla rimanente massa di materiali lignei. Ciò è possibile effettuando una demolizione selettiva mediante apposite escavatrici-separatrici (demolizione dei solai di piano). In alternativa si può iniziare rimuovendo le pareti in legno per poi demolire lo scantinato o la platea di fondazione.

Con questo sistema all'impianto di trattamento dei materiali di demolizione pervengono solamente residui di calcestruzzo (eventualmente con ferro di armatura).

2.4 Edifici con struttura a intelaiatura in legno / struttura leggera

Un'ulteriore tipologia costruttiva di edificio è costituita dalla struttura a scheletro (ossatura). In questa tipologia costruttiva i pilastri e le travi svolgono una funzione portante primaria. Lo scarico verticale delle sollecitazioni, a differenza che nella struttura massiccia, non avviene attraverso le pareti. Queste ultime, invece, nelle loro varie configurazioni svolgono la funzione di delimitazione dei locali. Le pareti possono essere realizzate in muratura o anche con pannelli a sandwich prefabbricati.

Gli elementi portanti, in caso di edifici per uffici, abitazioni o industrie di grandi dimensioni, sono spesso in cemento armato o acciaio. In caso di edifici di dimensioni medie e piccole per gli elementi portanti viene frequentemente impiegato anche il legno.

La struttura a telai in legno è una tipologia costruttiva tipica per case prefabbricate.

2.4.1 Tipologie costruttive

Una sottocategoria della tipologia costruttiva a scheletro è la tipologia costruttiva a telai. Nella tipologia costruttiva a telai la struttura portante è costituita da telai prefabbricati, che al momento della fornitura sono per lo più rivestiti solo su un lato. Finestre, porte, coibentazione e altri rivestimenti vengono montati in cantiere. Una variante della struttura a telai è la cosiddetta struttura

a lastre in legno. Quest'ultima corrisponde in linea generale alla prima, tranne che per il fatto che le pareti dell'intera costruzione con tutti gli elementi principali vengono prefabbricati in fabbrica e poi assemblati in cantiere.

Nella struttura a telai in legno viene realizzata un'intelaiatura in legno con aste orizzontali e verticali. Tale intelaiatura svolge la funzione portante verticale. L'irrigidimento orizzontale viene ottenuto attraverso elementi costruttivi a lastra o mediante tavole in legno montate diagonalmente.

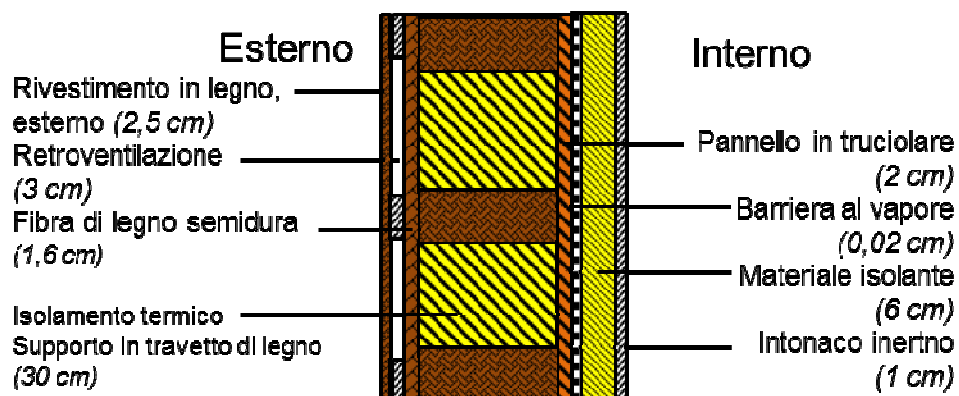


Fig. 21: Struttura di parete esterna di casa passiva con struttura a telaio in legno (estate 2011)

Si tratta per lo più di un rivestimento in legno su ambo i lati con un isolamento termico intermedio. Lo spessore totale della struttura risulta dallo spessore necessario dell'isolamento e nella maggior parte dei casi prevede anche una retroventilazione e una protezione contro gli agenti atmosferici (in genere un rivestimento in legno).



Fig. 22: Prefabbricazione con sistema a lastre in legno (ScanHaus Marlow GmbH 2012)

2.4.2 Materiali da costruzione e materiali termoisolanti

Nella tipologia costruttiva a telai in legno possono essere impiegati, oltre ai pannelli termoisolanti utilizzati nella tipologia costruttiva massiccia, anche materassini termoisolanti. Nella tipologia costruttiva a telai in legno vi sono dei riquadri, ossia delle aperture tra le travi, che vengono riempite con materiali termoisolanti a forma di materassino. Dopo la chiusura delle aperture con pannelli in legno (truciolare), sulla costruzione si applica un ulteriore isolamento termico in pannelli isolanti.

Quindi vengono quasi sempre impiegati pannelli termoisolanti, integrati da diverse varianti di materiali termoisolanti in forma di materassini o sciolti che vengono posati manualmente o iniettati nelle aperture.

Tab 8: Tipici materiali di materassini termoisolanti in plastica (IpeG- Institut GmbH 2012)

Caratteristiche	Densità [kg/m³]		λ R [W/mK]	
	min.	max.	min.	max.
Materassino nanogel (silice)	130	180	0,014	0,021
Materassino in fibra ceramica (ossido di alluminio/silicio)	100	560	0,030	0,070
Materassino in schiuma di resina melamminica (prodotto di riciclaggio a base di schiuma di resina melamminica)	-	35	-	0,031
Lana di vetro (rottame di vetro al borosilicato/rottame di vetro/sabbia/ calcare,soda/ legante)	10	200	0,032	0,035
Teli a cuscino d'aria (polietilene, polipropilene, velo non tessuto in fibra di poliestere)	20	22	-	0,033
„Ovatta isolante“ in poliestere (olio minerale)	10	40	-	0,035
Lana di roccia (pietra naturale/conci speciali/resine fenolformaldeidiche)	10	200	-	0,035



Fig. 23: Materiale termoisolante cellulosico (Ratgeberzentrale 2012)

2.4.3 Possibilità di demolizione

In base alle informazioni fornite nel corso dello studio da esperti del settore della demolizione e del riciclaggio dei materiali di demolizione, in Germania questo tipo di case prefabbricate viene demolito con molta cura. Si procede in genere smontando ogni singola parete e rimuovendo manualmente i materiali isolanti. Se si trovano materassini in fibra minerale di provenienza e composizione sconosciuta o se si tratta di edifici precedenti al 1995 da parte delle autorità in materia di tutela del lavoro vengono rilasciate autorizzazioni speciali con particolari condizioni.

Nella demolizione di materiali termoisolanti in fibra minerale possono infatti sussistere alcuni problemi di ordine igienico, e precisamente:

- Le fibre grossolane della lana minerale ($> 3 \mu\text{m}$) provocano, in caso di contatto con la pelle, delle irritazioni cutanee e, nella maggior parte delle persone, anche prurito. In persone con pelle sensibile possono anche verificarsi reazioni più intense (arrossamento, gonfiore e simili).
- Le polveri della lana minerale utilizzata un tempo (KMF) sono classificate come potenzialmente cancerogene.

I rifiuti vanno impaccati sul luogo di origine possibilmente in modo da non far fuoriuscire polveri, eventualmente umidificati e provvisti di contrassegni di identificazione. Per il trasporto vanno impiegati contenitori chiusi (ad esempio bidoni, sacchi antistrappo, big-bag).

Indipendentemente dalle condizioni poste dalla tutela del lavoro, lo smontaggio delle pareti in fase di demolizione ha senso solo se i materiali termoisolanti impiegati sono di tipo minerale. Sui lati interni delle pareti vengono frequentemente impiegati pannelli in cartongesso: tali materiali non sono graditi né in combinazione con rifiuti di legno né con quelli minerali e dovrebbero quindi essere successivamente separati manualmente.

Nella demolizione di una costruzione di questo tipo si generano in tal modo tre tipologie di rifiuti:

- materiali lignei da telai e pannelli termoisolanti in legno,
- materiali termoisolanti (minerali) in materassini nonché ad es. pannelli in cartongesso,
- rifiuti minerali dalla demolizione della platea di fondazione e dei solai di piano.

2.4.4 Effetti sul pretrattamento e sul recupero dei rifiuti di demolizione

Negli impianti di riciclaggio di materiali di demolizione i materiali relativi a strutture in legno non possono essere ulteriormente valorizzati. Sia i materiali da costruzione in legno che i materiali termoisolanti ad elevato potere calorifico vanno infatti recuperati in forma di energia in inceneritori di rifiuti. Eventualmente da questi rifiuti si potrà produrre, in appositi impianti di selezione e trattamento, un combustibile definito.

I rimanenti materiali da costruzione (pannelli in gesso) e materiali termoisolanti inerti dovrebbero essere smaltiti in discarica.

I restanti rifiuti minerali di demolizione sono soprattutto costituiti da calcestruzzi, che possono essere recuperati come materiali da costruzione riciclati in appositi impianti di trattamento di materiali di demolizione.

2.5 Conclusioni

2.5.1 Problemi di pretrattamento dei materiali di demolizione

Condizioni generali connesse ai requisiti di qualità dei prodotti

Una separazione selettiva dei vari materiali in base alle loro diverse caratteristiche fisiche dovrebbe avvenire, idealmente, almeno in via grossolana, già in cantiere. Per ottenere materiali da costruzione riciclati di qualità, in particolare per la costruzione di strade o come inerti per la produzione di calcestruzzo, si deve poter separare il più possibile i materiali originali con le loro specifiche caratteristiche fisico-costruttive. Questa qualità o idoneità come materiale da costruzione riciclato dipende in grande misura dal peso specifico e quindi dalla resistenza meccanica del materiale.

In Tab 9 sono riportati i valori empirici di resistenza di materiali da costruzione riciclati (trattati e selezionati quasi per tipologia). La resistenza massima la presentano, come era da attendersi, le pietre naturali. Le categorie di materiali da costruzione riciclati costituiti da mattoni e calcestruzzo frantumati possiedono ancora sufficienti caratteristiche di resistenza da permetterne lo smercio sul mercato dei materiali da costruzione come prodotto di qualità per impieghi qualificati. Blocchi puri in arenaria e in calcestruzzo aerato autoclavato riciclati non sono invece idonei per realizzare prodotti di qualità.

Tab 9: Valori empirici di materiali da costruzione riciclati trattati (selezionati quasi per tipologia)

Inerti	Pietra naturale (ghiaia)	Calcestruzzo	Laterizio	Arenaria	Porenbeton
Resistenza granulo [kN]	> 100	50	25	13	3

In base all'esperienza, i requisiti imposti dai regolamenti vigenti riguardo alle caratteristiche fisiche e chimiche dei materiali da impiegare nella costruzione di strade possono essere rispettati solo da resti di calcestruzzo puro o miscele di calcestruzzo/laterizio. Secondo la norma europea (EN) 13242:2008 gli inerti litoidi per costruzione possono contenere al massimo il 10% in peso di materiali a minore durezza, quali mattoni in laterizio per muratura, blocchi in arenaria calcarea e calcestruzzo aerato autoclavato.

Già oggi lo smercio di materiali da costruzione interamente o parzialmente costituiti da macerie di murature risulta problematico. In genere per questo tipo di rifiuti sono disponibili solo impieghi molto semplici, ad esempio per realizzazione di rilevati o rinterri, che comportano oltretutto ricavi economici piuttosto bassi.

Se in conseguenza delle particolari esigenze di coibentazione le percentuali di materiali minerali quali porenbeton, calcestruzzo alleggerito o anche vetro cellulare sono particolarmente elevate, ciò si riflette in modo certamente non positivo sulla possibilità di realizzazione di prodotti di riciclaggio.

Per garantire in futuro una possibilità di trasformare la massima quantità possibile di rifiuti di demolizione minerali in materiali da costruzione riciclati di qualità, per le costruzioni dovranno essere impiegati soprattutto calcestruzzo e mattoni in laterizio.

A tale riguardo si potrà trattare anche in larga misura di mattoni porizzati con elevata percentuale di pori poiché la densità del granulo per il materiale frantumato non ne viene influenzata.

Condizioni di contorno sotto il profilo dell'accettazione di prodotti di riciclaggio

La percentuale di materiali estranei quali ad es. leganti, metalli, legno, gesso e plastica (e altri materiali termoisolanti) deve essere limitato ad un valore $< 1\%$ in peso (DIN EN 13242:2008).

Nella pratica questo contenuto limite non viene mai raggiunto. Ciò vale per lo meno nel caso di materiali di riciclaggio di qualità, come richiesti per strati antigelo o strati portanti nella costruzione di strade. La presenza visibile di materiali estranei nel prodotto è per le imprese costruttrici un indizio di carenti standard di qualità nella produzione dei prodotti riciclati e quindi un indizio di carente idoneità dei prodotti stessi. Ciò vale in particolare per la presenza di materiali organici quali legno e plastica.

Da ciò consegue che gli impianti di riciclaggio di norma realizzano prodotti aventi un contenuto di componenti estranei decisamente inferiore all' 1% in peso.

In caso contrario sarebbe messa a rischio la possibilità di smercio dei prodotti per insufficiente fiducia da parte dei clienti, e ciò a prescindere dalle effettive caratteristiche dei prodotti e dalla loro certificazioni di idoneità.



Fig. 24: Strato antigelo in materiale riciclato dopo la posa in una strada

Il rispetto di questi requisiti non è già oggi facile da garantire, anche per impianti di riciclaggio tecnicamente molto avanzati, ed a maggior ragione se si tratta di impianti di trattamento (mobili) che non dispongono di separatori di materiali leggeri.

Come è emerso dalla discussione sui diversi tipi di CaseClima, in queste tipologie costruttive vengono impiegate molte più sostanze non minerali rispetto alle tipologie costruttive tradizionali.

Non appena aumenterà il numero di CaseClima da risanare o da demolire si dovranno prevedere idonei investimenti in tutti gli impianti di trattamento di materiali di demolizione per integrare separatori di materiali leggeri o, in alternativa, si dovranno prevedere fasi di separazione manuale dei materiali estranei dagli altri rifiuti; il che comporta costi di esercizio corrispondentemente elevati.

Da miscele di rifiuti di demolizione minerali e non minerali, tuttavia, anche l'impianto di trattamento tecnicamente più attrezzato non potrà produrre materiali da costruzione di particolare qualità. È quindi indispensabile che i rifiuti di demolizione minerali, prima di essere conferiti agli impianti di trattamento e riciclaggio, presentino già il maggior grado di purezza possibile. Già in questo materiale di partenza la percentuale di materiali estranei deve essere ridotta al minimo indispensabile.

Retroeffetti sui processi di demolizione

Per ricavare dalla demolizione e dal trattamento di costruzioni esistenti di tipologia costruttiva massiccia dei prodotti di riciclo di elevata qualità, i rifiuti di demolizione devono essere il più possibile separati già in cantiere nelle singole tipologie. Ciò può avere senso anche nell'ambito dei singoli rifiuti minerali, ad esempio con una separazione del calcestruzzo dagli altri rifiuti minerali. Ciò è obbligatoriamente necessario per la separazione dei rifiuti non minerali. Il legno o le plastiche, infatti, non devono finire nella massa dei rifiuti minerali e se vengono mescolati o tritati assieme essi, possono poi essere separati solo con grande lavoro e comunque non in forma sufficientemente sicura (vedi sopra).

Il tipo di organizzazione della demolizione degli edifici è determinante riguardo alle possibilità di riutilizzo ed alla qualità dei prodotti ottenibili nelle singole frazioni di materiali.

Ciò è possibile, a seconda delle diverse tipologie costruttive, mediante:

- tipologia costruttiva monolitica:
nessuna immissione di componenti estranei dall'isolamento termico, sempreché non vengano impiegati materiali da costruzione compositi;
- impiego di sistema termoisolante a cappotto:
l'EPS è separabile in modo abbastanza selettivo, con certe limitazioni, sempreché le pareti portanti siano di tipo minerale;
- tipologia costruttiva leggera:
una buona separazione tra frazione minerale e non minerale è possibile se le pareti verticali sono il più possibile interamente in materiali non minerali; è inoltre necessaria una separazione manuale di legno e materiali termoisolanti.



Fig. 25: Esempio di demolizione decisamente non qualificata di un edificio (pixelio)

Una demolizione selettiva non è possibile qualora vi siano materiali da costruzione compositi, in quanto in tal caso non è possibile adottare in cantiere alcuna misura preliminare che possa influire sulla separazione delle frazioni di materiali. Ciò è particolarmente problematico allorché ad esempio i materiali termoisolanti consistono non in perlite ma in plastica (o anche lana minerale).

Una demolizione selettiva richiede un maggiore impiego di macchinari e, in genere, anche di personale, in particolare per la rimozione delle parti interne dell'edificio. Ciò è necessariamente legato a maggiori costi. Questa tuttavia non è l'unica voce di costo che va considerata nel calcolo di un'offerta di demolizione di un edificio.

Oltre ai costi di smontaggio per la demolizione vera e propria vanno calcolati i costi di smaltimento per i materiali demoliti nonché i costi di trasporto.

In una *demolizione convenzionale* l'intero edificio viene demolito dopo solo minimi lavori di rimozione delle parti interne. Praticamente non vi sono quasi costi di smontaggio. Peraltro, vi sono costi di smaltimento elevati nel caso in cui i rifiuti di demolizione misti possano essere conferiti solo ad impianti di riciclaggio di materiali di demolizione e non siano praticabili altre vie di smaltimento poco „trasparenti“ per materiali misti, non trattati e contenenti elevate percentuali di frazioni estranee. I prezzi di conferimento di materiali di demolizione misti in impianti di riciclaggio devono essere necessariamente alti, in quanto comportano notevoli oneri di selezione ed una gran parte di essi deve essere smaltita in discarica o in impianti di incenerimento (i costi di smaltimento sono in genere notevolmente superiori ai costi di riciclaggio). Nella *demolizione selettiva*, grazie alla possibilità di riutilizzo selettivo delle singole frazioni pure, i maggiori costi di demolizione connessi con maggiori oneri di smontaggio possono essere per lo più compensati da rilevanti risparmi nei costi di smaltimento. La purezza delle singole frazioni di materiali viene di norma riconosciuta da parte degli impianti di riciclaggio di materiali di demolizione con prezzi di conferimento decisamente inferiori.



Fig. 26: Esempio di demolizione dopo la rimozione del sistema termoisolante a cappotto

Come risulta dalle considerazioni precedenti, un sistema selettivo di demolizione degli edifici ben organizzato potrebbe essere standardizzato, con opportune condizioni generali di supporto.

La demolizione selettiva di CaseClima con una separazione spinta delle varie frazioni di materiali già in cantiere diventa „automaticamente“ lo standard, se non vi sono vie poco “trasparenti“ di smaltimento, alternative agli impianti di trattamento-riciclaggio dei materiali di demolizione, per mezzo delle quali possano essere smaltiti a prezzi vantaggiosi anche rifiuti di demolizione misti.

Se ciò è garantito, almeno in via teorica tutto il resto è regolato dal mercato.

Ciononostante è utile accompagnare tutto ciò con alcune misure di supporto, e precisamente:

- divieto di soluzioni di smaltimento „a buon prezzo“ ma nocive per l'ambiente
- definizione di specifiche condizioni per il rilascio di autorizzazioni alla demolizione di edifici, ad esempio in regolamenti edilizi o simili, che stabiliscano standard minimi di selezione nelle attività di demolizione
- comportamento esemplare da parte della pubblica amministrazione con elaborazione di idonei capitolati di appalto per i lavori di propria competenza

2.5.2 Aspetti ecologici

Il punto di vista dei gestori degli impianti di trattamento di materiali di demolizione o dei riutilizzatori dei rifiuti minerali derivanti dalla demolizione di edifici è importante e deve essere tenuto in considerazione. L'analisi e le raccomandazioni del presente studio sono finora state fatte soprattutto partendo da questa prospettiva. In che misura questa auspicabile ottimizzazione sia ragionevole anche sotto il profilo ecologico complessivo non può essere stabilito senza ulteriori indagini.

Se precedentemente i consumi energetici nella vita di un edificio erano particolarmente rilevanti nella valutazione ecologica complessiva, con l'entrata in vigore nel frattempo degli standard energetici per le nuove costruzioni assumono un peso sempre più importante altri aspetti. E proprio anche per le CaseClima la fabbricazione di prodotti per l'edilizia o lo smaltimento dei rifiuti derivanti dalla demolizione di edifici hanno assunto un ruolo importante in un bilancio globale.

È perciò opportuno analizzare con maggiore precisione gli aspetti ecologici inerenti ai diversi flussi di materiali a seconda della tipologia costruttiva ed alle relative possibilità di smaltimento. A tal fine nel capitolo seguente è stata riportata una valutazione comparativa delle forme di smaltimento dei flussi di rifiuti di due diverse tipologie costruttive con uguali standard energetici e dimensioni di edificio. Al fine di verificare in che misura le alternative più vantaggiose sotto il profilo dello smaltimento siano però pagate con i maggiori costi ambientali connessi alla fabbricazione dei materiali da costruzione impiegati, questi risultati vengono raffrontati ai vari impatti ecologici.

3 Demolizione e smaltimento di CaseClima - aspetti ecologici

3.1 Descrizione delle alternative

Le CaseClima a Bolzano sono per la maggior parte realizzate con tipologia costruttiva tradizionale medio-pesante in muratura con sistema termoisolante a cappotto applicato anteriormente. La tipologia costruttiva leggera a telai in legno con isolamento termico integrato nella costruzione sta però prendendo sempre più piede. Perciò di seguito vengono esaminati gli aspetti ecologici relativi alla demolizione ed allo smaltimento dei materiali derivanti da edifici di

- a. tipologia costruttiva massiccia con sistema termoisolante a cappotto e
- b. tipologia costruttiva leggera a telai in legno

Poiché i materiali relativi alle parti interne ed al tetto non dipendono dalla tipologia costruttiva dell'edificio e non si differenziano necessariamente tra CaseClima e case convenzionali, non sono stati considerati nella valutazione ecologica.

La valutazione è limitata all'involucro esterno senza il tetto.

Entrambi i tipi di casa esaminati corrispondono allo standard CasaClima B (casa da 5 litri) con un fabbisogno termico di energia $<50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ riferito al clima bolzanino. A tal fine va assunto come valore orientativo di trasmittanza della parete esterna un valore variabile tra 0,15 e 0,25 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Consumer 2012).

In base ad un calcolo approssimativo ciò corrisponde ad uno spessore del materiale termoisolante di ca. 20 cm (casa a risparmio energetico 2012).

3.1.1 Tipologia costruttiva massiccia con sistema termoisolante a cappotto

La tipologia costruttiva massiccia con sistema termoisolante a cappotto è costituita dai componenti sotto riportati con relativi spessori (Königstein 2007, estate 2011). Qui è stato considerato solo l'involucro esterno dell'edificio, consistente in pareti esterne e platea di fondazione. Nella platea di fondazione sono stati trascurati il massetto, il rivestimento del pavimento e l'isolamento acustico anticalpestio in quanto tali componenti non sono differenti nelle varie tipologie costruttive. Ne risultano le percentuali in volume dei diversi materiali da costruzione nelle pareti esterne, risp. nella platea di fondazione, riportate in Tab 12.

Tab 10: Composizione dei materiali per costruzioni medio-pesanti
(Ökobau dat, Institut Bauen und Umwelt (IBU))

	Spess. (m)	Vol.-%	Densità (kg/m³)	Peso %	Smaltimento
Superficie esterna					
Intonaco esterno	0,01	2,5	1550	8,8	come sist. isol. cappotto
Sist. isol. cappotto	0,2	50	v. Tab 11	6,7	inceneritore/discardica
Materiale portante (mattone forato)	0,18	45	740	75,7	imp. trattamento rifiuti demolizione
Intonaco interno	0,01	2,5	1550	8,8	discardica
Platea di fondazione					
Rivestimento pav., massetto, isola- mento acustico anticalpestio	0,02 0,06 0,02	25	non considerati		
Cemento armato	0,25	62,5 (con 3 % di acciaio	acciaio 7850, cls 2365 (C25/30)	99,7	imp. trattamento rifiuti demolizione
Isolamento termico XPS	0,05	12,5	32	0,3	inceneritore rifiuti

Assumendo che l'involucro esterno di una casa media presenti una superficie esterna di 315 m² ed una platea di fondazione di 168 m², si possono calcolare i volumi assoluti dei singoli materiali di demolizione connessi allo smaltimento dell'involucro esterno di una casa media.

Una casa con un involucro esterno di queste proporzioni presenta in media una cubatura di 1693 m³ (banca dati Agenzia CasaClima). Partendo da questo dato si possono riportare e normalizzare i volumi di materiali di demolizione ad una scala di cubatura di 1000 m³ (pareti esterne 74,4 m³, platea di fondazione 39,6 m³ compresi componenti trascurati). Con i valori di densità dei materiali da costruzione riportati in Tab 10 si possono calcolare i quantitativi assoluti in peso di materiali di demolizione riferiti a 1000 m³ di cubatura (32,7 t pareti esterne, 60,0 t platea di fondazione, esclusi componenti non considerati) e le quote in peso relative ai singoli materiali da costruzione. I materiali termoisolanti sono destinati all'inceneritore di rifiuti/discardica, mentre la muratura e il cemento armato sono destinati ad un impianto di trattamento di materiali di demolizione.

Per l'isolamento termico della parete esterna vi possono essere diversi sistemi termoisolanti a cappotto, che, a seconda del tipo, vanno smaltiti sostanzialmente in un inceneritore di rifiuti o in discardica. Per la distribuzione di probabilità del sistema termoisolante a cappotto nelle pareti esterne ci si è riferiti al campione di CasaClima di cui al cap. 2, trasferendo la frazione „diversi“ agli altri elementi del sistema termoisolante a cappotto. Per lo spessore del sistema termoisolante a cappotto è stato assunto un valore unitario, indipendentemente dal tipo di materiale isolante, dato che la conducibilità termica λ è simile per tutti i materiali isolanti considerati. Perciò la distribuzione dei campioni di pannelli isolanti in scala corrisponde allo stesso tempo alla loro distribuzione volumetrica. A causa delle differenti densità dei materiali termoisolanti la loro ripartizione in base al peso è diversa rispetto a quella in base al volume.

Tab 11: Distribuzione di probabilità e composizione dei materiali termoisolanti considerati (Ökobau.dat, Institut Bauen und Umwelt (IBU))

Materiali isolanti	Sistema isolante cappotto campione	Sistema isolante cappotto in scala	Densità (kg/m³)	% in peso	Composizione (% in peso) materiali termoisolanti in inceneritore di rifiuti ¹	Smaltimento
EPS	38,1%	64,2%	17,5	18,9	94,75% EPS, 5,25%; propellente pentano	inceneritore di rifiuti
Pannelli isolanti in fibra di legno	9,16%	15,5%	160	41,7	inceneritore di rifiuti (95,5% legno, 3,5% resina PUR, 1% paraffina)	inceneritore di rifiuti
Pannelli isolanti minerali	12,1%	20,3%	115	39,4		discarica
Diversi	40,7%					

Gli oneri per il processo di rimozione delle parti interne in entrambi i sistemi non sono stati considerati.

Per la demolizione del sistema termoisolante a cappotto è preventivato un impiego di macchine di otto ore con un consumo di gasolio di 15,5 l/h (comunicazione della Ditta Feeß). Dopo la separazione il sistema termoisolante a cappotto viene avviato all'inceneritore di rifiuti di Bolzano ed ivi incenerito. Solo i pannelli isolanti minerali vengono smaltiti in discarica. La composizione dei materiali isolanti determina le emissioni nell'inceneritore di rifiuti nonché (attraverso il potere calorifico) la quantità di energia prodotta nel processo di combustione, che può sostituire energia prodotta in modo convenzionale (vedi capitolo seguente). In questo studio il sistema termoisolante a cappotto viene rappresentato esclusivamente attraverso l'intonaco esterno e il materiale isolante vero e proprio. Pertanto la colla minerale, i tasselli e la rete di armatura del sistema termoisolante a cappotto sono calcolati nel materiale isolante. In considerazione del ridotto volume della colla questa semplificazione è accettabile. La composizione del materiale isolante è riportata in Tab 11.

Per la demolizione del materiale portante e del cemento armato è preventivato un ulteriore impiego di macchine di 3,5 giorni di 8 ore ciascuno con un consumo di gasolio di 17,5 l/h (comunicazione della Ditta Feeß). La muratura delle pareti esterne e il cemento armato della platea di fondazione sono trasformati in un impianto provinciale di riciclaggio in materiali inerti di diversa pezzatura destinati in parte alla costruzione di rilevati stradali. Per le fasi di trattamento e le singole frazioni si è fatto riferimento a comunicazioni personali.

Sia per il riciclaggio dei materiali di costruzione che del cemento armato il materiale viene in parte pre-frantumato con l'aiuto di una escavatrice e quindi inviato all'impianto di trattamento per mezzo di pala gommata. La frazione >60 mm ovvero >70 mm viene separata mediante vagliatura e quindi ulteriormente frantumata mediante un frantoio a proiezione o a ganasce. Dalla parte rimanente viene separata, tramite un vaglio primario, la frazione <5 risp. <10 mm, destina-

¹Fonte: ökobau.dat; Institut Bauen und Umwelt (IBU)

ta alla discarica o destinata a sostituire, come materiale sabbioso, sabbia primaria di cava. Dai flussi di materiali così trattati si separa poi, per mezzo di un magnete, la frazione ferrosa e, in processo di selezione successivo, la frazione del legno e della plastica. Il ferro secondario così ottenuto sostituisce al 100% ferro grezzo primario. Segue un ulteriore stadio di vagliatura, nel quale viene separata la frazione con pezzatura >100 mm, che può essere ad esempio utilizzata come materiale di riempimento alle uscite del cantiere, ovvero la frazione > 60 mm, che viene avviata ad un frantoio a proiezione e di qui nuovamente ricongiunta alla massa complessiva di materiale. Mediante un magnete viene poi nuovamente separata la frazione ferrosa.

A partire da qui i percorsi del riciclaggio dei materiali di demolizione e del calcestruzzo si differenziano sostanzialmente. Il calcestruzzo viene infatti separato, attraverso due ulteriori vagli, in frazioni di pezzatura >60 mm, 30-60 mm e <30 mm. Ciascuna di queste frazioni trova impiego nella costruzione di strade e sostituisce materiali litoidi primari corrispondenti. Il rimanente materiale di demolizione viene inviato ad un separatore di materiali leggeri e quindi separato, attraverso tre vagli, nelle frazioni di pezzatura 40-100, 20-40, 4-20 e <4 mm. Le ultime tre frazioni trovano impiego come materiale di riempimento, mentre invece la prima frazione viene avviata ad un trattamento a umido con lavaggio e successiva disidratazione. Nel processo di disidratazione viene separata una frazione sabbiosa <2 mm che va smaltita in discarica. La frazione lavata 40-100 mm può essere utilizzata come materiale per la costruzione di strade.

L'impiego di energia per le singole fasi di trattamento e la separazione delle frazioni è riportato nelle Fig. 27 e Fig. 28.

Il calcestruzzo e il materiale di demolizione impiegati nella costruzione di strade sostituiscono materiali litoidi primari, che altrimenti dovrebbero essere estratti da apposite cave. L'impiego come materiale di riempimento sostituisce analogamente materiali che dovrebbero essere scavati. Un trasporto altrove di tali materiali non viene preso in considerazione in nessun caso poiché non si può ipotizzare che il calcestruzzo e gli altri materiali di demolizione trasportati possano essere diversi da materiali litoidi e di riempimento primari che andrebbero a sostituire.

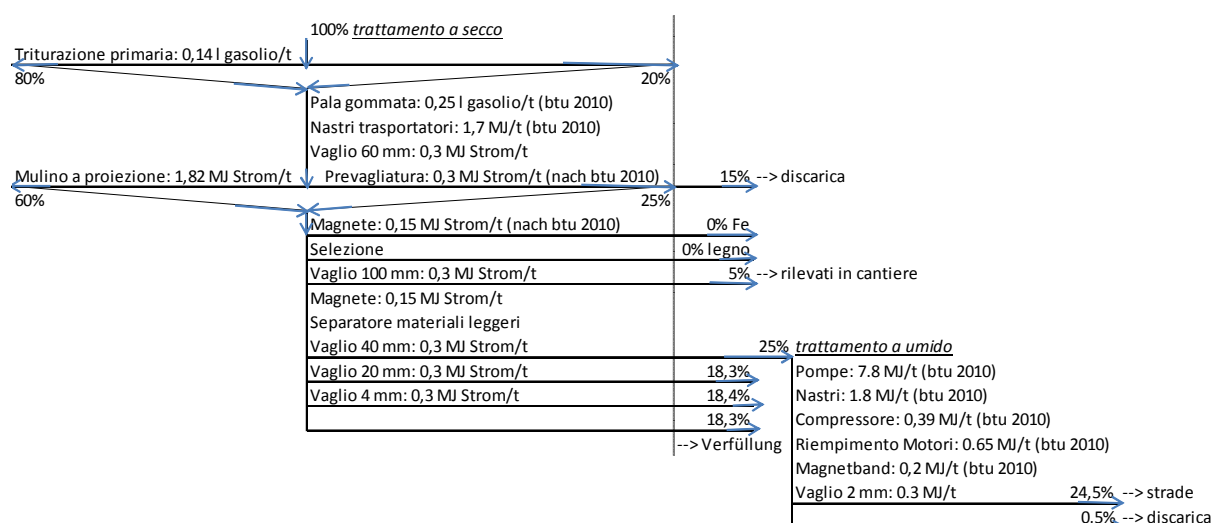


Fig. 27: Trattamento della frazione di materiale di demolizione misto (riferimento percentuali: % in peso rispetto a input totale)

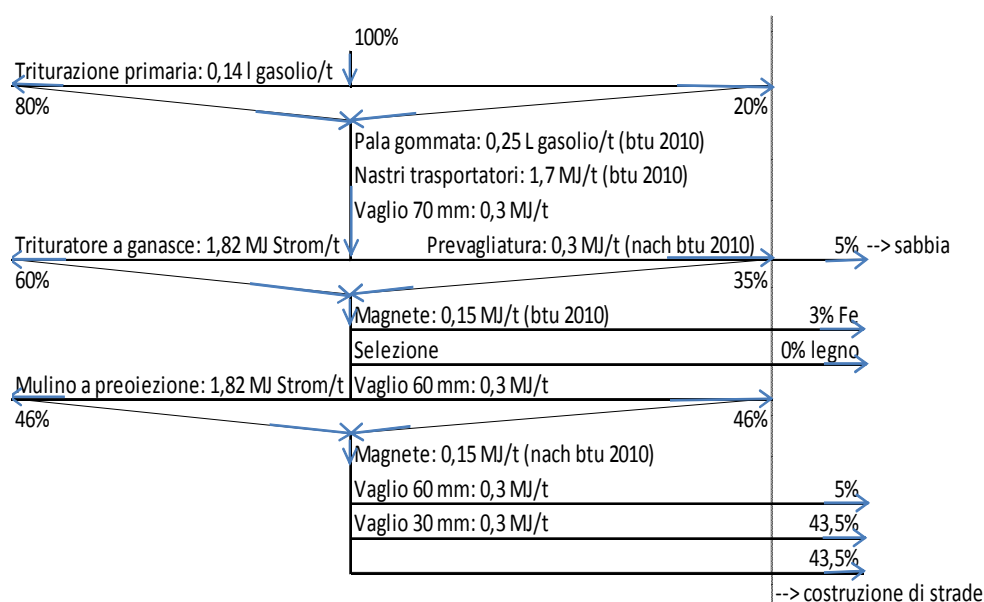


Fig. 28: Trattamento della frazione di materiale di demolizione calcestruzzo (% in peso, riferito all'input totale)

3.1.2 Strutture leggere (con intelaiatura in legno)

L'involucro esterno di edifici con tipologia costruttiva leggera a telai in legno è costituito dai materiali sotto riportati con relativi spessori (Königstein 2007, estate 2011). Per gli stessi motivi della tipologia costruttiva massiccia con sistema termoisolante a cappotto si trascurano anche qui nella platea di fondazione il massetto, il rivestimento del pavimento e l'isolamento acustico anticalpestio. Analogamente, nella parete esterna si trascura la barriera al vapore in considerazione del suo ridotto volume. Ne risultano le percentuali volumetriche dei diversi materiali da costruzione nella parete esterna risp. nella platea di fondazione riportate in Tab 12.

Tab 12: Composizione dei materiali per costruzioni leggere
(Ökobau.dat, Institut Bauen und Umwelt (IBU))

	Spessore (m)	% in volume	Densità (kg/m ³)	% in peso	Smaltimento
Superficie esterna					
Rivestimento in legno esterno	0,025	7,0	565*	13,2	inceneritore di rifiuti (90% legno, 6% acqua, 3,5% colla PMDI, 0,5% emulsione cera paraffinica)
Pannello in truciolare esterno e interno	0,016 + 0,02	10,1	681,5*	22,9	inceneritore di rifiuti (85% legno secco, 5,5% acqua, 9% resina ureica, 0,5% emulsione cera paraffinica)
Supporto legno: materiale portante	0,3 (25% superficie)	20,9	430	30,2	inceneritore di rifiuti (legno)
Materiale isolante: lana di roccia nell'intercapedine	0,02 (75% superficie)	41,9	121,67*	17,1	discarica
Barriera vapore	0,002	0,5	non considerata		
Pannello isolante in fibra di legno	0,06	16,8	160*	9,0	inceneritore di rifiuti (95,5% legno, 3,5% resina PUR, 1% paraffina)*
Pannello in cartongesso	0,01	2,8	800	7,5	discarica
Platea di fondazione					
Rivestimento pav., massetto, isolamento acustico anticalpestio	0,02; 0,06; 0,02	33,4	non considerati		
Cemento armato	0,15	50,0 (con 3% in peso acciaio)	acciaio 7850, cls 2365	99,6	impianto trattamento rifiuti demolizione
Isolamento termico XPS	0,05	16,7	32	0,4	inceneritore di rifiuti (94,75% EPS, 5,25% propellente pentano)*

I volumi e le masse dei singoli materiali di demolizione relativi a una cubatura di 1000 m³ si possono calcolare analogamente che per la tipologia costruttiva massiccia (vedi cap. 3.1.1). L'intera massa di materiali di demolizione ammonta a 66,6 m³ o 19,8 t per le pareti esterne e a 29,7 m³ (comprese parti trascurate), rispettivamente 36,12 t (comprese parti trascurate) per la platea di fondazione. I volumi di materiali di demolizione sono differenti rispetto alla tipologia costruttiva massiccia a causa dei materiali da costruzione diversi, impiegati con altri spessori. La lana di roccia e i pannelli in cartongesso vanno smaltiti in discarica, mentre tutti i materiali lignei e il polistirolo espanso vanno bruciati nell'inceneritore di rifiuti.

Per la demolizione della costruzione a telai in legno è preventivato un impiego di macchine di tre giorni di 8 ore ciascuno con un consumo di gasolio di 17,5 l/h. La lana di roccia va rimossa dalle intercapedini e smaltita in discarica. Il resto delle pareti esterne va bruciato nell'inceneritore di rifiuti di Bolzano. Il cemento armato della platea di fondazione va inviato, come descritto nel cap. 3.1.1 in un impianto di trattamento bolzanino per poter poi essere riutilizzato come materiale per costruzione di strade.

Per il calcolo dei livelli di rendimento energetico futuri viene qui di seguito stimato il potenziale futuro del nuovo inceneritore di rifiuti di Bolzano (comunicazione personale). Il nuovo inceneritore di rifiuti di Bolzano a pieno regime sarà in grado di smaltire un quantitativo di rifiuti di 16,3 t/h con un potere calorifico di 13 MJ/kg, corrispondenti ad una potenza termica di 58,86 MW. La capacità termica per teleriscaldamento dovrebbe ammontare a circa 30 MW. Con un funzionamento di questo genere si produrrebbero 10,9 MW lordi di energia elettrica, di cui 9,03 MW potrebbero essere nuovamente immessi in rete. Il corrispondente rendimento termico è del 51%, mentre il rendimento elettrico netto è del 15%.

I materiali lignei e il polistirolo espanso della platea di fondazione che sono inviati nell'inceneritore di rifiuti producono una determinata quantità di energia elettrica e calore in relazione al loro potere calorifico ed al potenziale energetico calcolato. Grazie all'energia elettrica immessa in rete si risparmia la produzione di energia elettrica primaria. Il calore immesso nella rete di teleriscaldamento viene inviato soprattutto a nuove utenze (un ospedale, un nuovo insediamento), che altrimenti dovrebbero essere alimentate in modo convenzionale con propri impianti singoli oppure tramite teleriscaldamento dalla centrale di cogenerazione della SEL a Bolzano, funzionante a metano. Nel presente studio vengono esaminate le seguenti varianti distinte:

- a. Il calore dell'inceneritore di rifiuti sostituisce calore convenzionale per riscaldamento prodotto al 50% con gasolio e al 50% con metano
- b. Il calore dell'inceneritore di rifiuti sostituisce al 100% calore prodotto da una centrale a metano

Le emissioni della combustione dell'inceneritore di rifiuti relative all'input dipendono dalla composizione dei materiali da costruzione (Tab 12).

Una parte dei materiali lignei, in particolare delle travi portanti, può essere recuperata come tale. In tal caso il legno recuperato sostituisce legno primario proveniente dal taglio di boschi, cosicchè possono essere evitati i corrispondenti impatti legati alla produzione ed all'abbattimento. Contemporaneamente la materia prima sostituita, ossia il legno primario nel bosco, può essere destinata ad un altro utilizzo energetico, cosicchè rimane anche la possibilità di sostituzione di energia elettrica e calore. Nel presente studio si parte però dall'assunto che i materiali lignei vengano bruciati, poiché questa al momento appare la soluzione più sensata sotto il profilo economico (comunicazione verbale).

3.2 Confronto ecologico riguardo a demolizione e smaltimento

Il bilancio completo comprende la demolizione dell'involucro esterno e lo smaltimento o il trattamento dei materiali da costruzione. Gli utili connessi al recupero in termini di materiale o di energia sono considerati sotto forma di guadagni (contrapposti agli oneri).

L'unità funzionale è lo smaltimento dell'involucro esterno di CaseClima dello stesso standard. Il flusso di riferimento risulta da un involucro esterno relativo a una cubatura di 1000 m³ (vedi cap. 3.1).

Per entrambi i sistemi „Tipologia costruttiva massiccia“ e „Tipologia costruttiva leggera“ si sono innanzitutto elaborati dei bilanci materiali, predisponendo una cosiddetta analisi di settore. Ciò permette di attribuire gli effetti ambientali e le cause principali. I parametri materiali considerati nel bilancio (ad es. CO₂, NO_x, consumo di gasolio, ecc.) sono poi aggregati nella stima dei principali impatti ambientali negativi. Qui sono stati considerati l'effetto serra, il potenziale di acidificazione, l'eutrofizzazione terrestre e le polveri sottili (PM 10). In appendice sono riportate ulteriori spiegazioni relative alle categorie di impatti considerate.

Nelle figure seguenti sono rappresentati i risultati per i due sistemi esaminati in confronto.

Spiegazione delle figure:

La demolizione dell'involucro esterno e lo smaltimento dei materiali di costruzione comportano consumi di risorse e impatti ambientali. Questi sono rappresentati da **colonne verso l'alto**. Le parti con colore in risalto rappresentano il contributo dei singoli sistemi parziali e processi al recupero ed al trattamento.

Il recupero in termini materiali ed energetici dei prodotti secondari ottenuti (energia, materiali per costruzione di strade e rinterri) comporta risparmio di risorse e riduzione dell'impatto ambientale grazie alla sostituzione di processi primari. Questo effetto di risparmio viene rappresentato con **colonne verso il basso**. I differenti colori indicano il contributo positivo relativo ai diversi materiali.

Gli oneri in termini di consumo di risorse e di impatto ambientale dovuti allo smaltimento della casa (verso l'alto) e i guadagni in termini di risparmio di risorse e di riduzione dell'impatto ambientale legati al risparmio di attività primarie (verso il basso) possono essere sommati tra loro ottenendo un risultato netto (colonna monocromatica accanto a oneri e guadagni ambientali). Se la colonna del risultato netto è rivolta verso l'alto significa che il trattamento dei rifiuti comporta, al netto, degli oneri ambientali; se invece la colonna è rivolta verso il basso significa che esso comporta, al netto, dei guadagni ambientali. In considerazione del fatto che la colonna del risultato netto si configura come differenza, non ha senso sezionarla in settori.

I risultati sono sempre riferiti ad una cubatura di 1000 m³.

I settori rappresentati comprendono i seguenti aspetti:

Oneri:

- Rimozione sistema termoisolante a cappotto: consumo di gasolio, comprese catene a monte, da parte di macchine operatrici per la rimozione del sistema termoisolante a cappotto
- Demolizione: consumo di gasolio, comprese catene a monte, da parte di macchine operatrici per la demolizione

- Trattamento materiale di demolizione: consumo di energia, comprese catene a monte, per il trattamento della muratura portante dalla parete esterna della tipologia costruttiva massiccia mediante vagli, trituratori, mulini, nastri trasportatori, etc.
- Trattamento calcestruzzo: consumo di energia comprese, catene a monte, per il trattamento del calcestruzzo della platea di fondazione della tipologia costruttiva massiccia e della tipologia costruttiva leggera mediante vagli, trituratori, mulini, nastri trasportatori, etc.
- Smaltimento isolamento termico: combustione del legno e della plastica del sistema termoisolante a cappotto e dei materiali termoisolanti nell'inceneritore di rifiuti ovvero deposito in discarica di sistemi termoisolanti a cappotto e di materiali isolanti minerali
- Smaltimento demolizione: smaltimento dell'intonaco interno della tipologia costruttiva massiccia in discarica ovvero incenerimento dei materiali lignei della tipologia costruttiva leggera nell'inceneritore di rifiuti e deposito in discarica di materiali isolanti minerali
- Smaltimento trattamento: smaltimento in discarica della frazione <5 mm dalla muratura portante della parete esterna della struttura massiccia

Guadagni:

- Guadagno recupero energ. materiale isolante: guadagno per l'energia prodotta dalla combustione dei materiali termoisolanti non minerali nell'inceneritore di rifiuti
- Guadagno recupero energ. materiali da costruzione leggeri: guadagno per l'energia prodotta dalla combustione dei materiali lignei nell'inceneritore di rifiuti
- Guadagno materiale secondario: guadagno di materiali secondari ottenuti dal materiale di demolizione e sostitutivi di materiali primari; in questo studio si tratta prevalentemente di ferro ricavato dal cemento armato della platea di fondazione

3.2.1 Cambiamento del clima (effetto serra)

I risultati per l'analisi di settore relativa al cambiamento del clima sono rappresentati in Fig 29. A sinistra vi è lo smaltimento per la tipologia costruttiva massiccia con sistema termoisolante a cappotto, accanto quello per la tipologia costruttiva a intelaiatura in legno, con ciascuno una sostituzione di calore prodotto per il 50% da gasolio e per il 50% da metano (tipologia costruttiva leggera 50/50 gasolio/metano). A destra vengono considerati gli stessi sistemi nel caso di una sostituzione di calore prodotto al 100% con metano. Poiché si tratta di un sistema di smaltimento, il risultato è influenzato in modo determinante dagli effetti di sostituzione.

Gli impatti massimi nel caso della tipologia costruttiva leggera risultano dal consumo di combustibili serra nella demolizione e nello smaltimento dei materiali termoisolanti e dei materiali da costruzione. L'impatto nel processo di demolizione, in conseguenza del minore impiego di macchine (3 giorni anziché 3,5 giorni), è leggermente minore rispetto alla tipologia costruttiva massiccia. Nel caso della tipologia costruttiva massiccia l'incenerimento del sistema termoisolante a cappotto (settore „smaltimento isolamento termico“), che consiste principalmente in materiali plastici fossili (EPS e XPS), comporta i maggiori impatti. I guadagni per l'energia prodotta dall'incenerimento del sistema termoisolante a cappotto (settore „GS recupero energ. materiale isolante“) possono però compensare nella tipologia costruttiva massiccia gli oneri di tale incenerimento. Anche nella tipologia costruttiva leggera si possono individuare gli oneri dovuti alla

combustione del XPS della platea di fondazione nel settore „Smaltimento isolamento termico“. Poiché però nella parete esterna della tipologia costruttiva leggera sono impiegati molto poco materiali isolanti combustibili in plastica ma piuttosto pannelli in lana di roccia e fibra di legno, gli oneri relativi allo smaltimento del materiale isolante sono minori.

La lana di roccia va smaltita in discarica. Nella combustione dei pannelli isolanti in fibra di legno viene emessa solo l'anidride carbonica fossile dei componenti fossili della colla dei pannelli. A causa dello smaltimento in discarica della lana di roccia tuttavia sono un po' minori anche i guadagni per l'energia derivante dallo smaltimento del materiale isolante („GS recupero energ. materiale isolante“). Gli oneri relativi all'incenerimento del materiale ligneo nella tipologia costruttiva leggera si evidenziano nel settore „Smaltimento demolizione“. Essi dipendono dai componenti a base di colla e paraffina nei pannelli. Poiché il legno è una fonte di energia rinnovabile, nella combustione delle frazioni lignee non viene emessa alcuna anidride carbonica fossile. L'energia prodotta sostituisce però energia prodotta in modo convenzionale (settore „GS recupero energ. materiali da costruzione leggeri“), cosicché si rileva un risparmio netto di anidride carbonica fossile. Di conseguenza i guadagni superano gli oneri. Poiché nella tipologia costruttiva leggera quasi tutti i componenti vengono bruciati, il guadagno per l'energia è maggiore che nella tipologia costruttiva massiccia.

I guadagni per l'energia termica dalla combustione nell'inceneritore di rifiuti (settori relativi a „GS recupero energ....“) variano a seconda che in tal modo si sostituisca calore prodotto da gasolio e metano oppure esclusivamente da metano, come si vede dal confronto tra la colonna a sinistra e la colonna a destra. Nella combustione di metano vi sono meno oneri che nella combustione di gasolio, cosicché il guadagno in caso di sostituzione di calore esclusivamente prodotto da metano risulta minore. Poiché tali guadagni sono predominanti nel sistema della tipologia costruttiva leggera, questo sistema è sensibile alla fonte di energia assunta per il calore sostituito. Il sistema della tipologia costruttiva leggera risulta in confronto alla tipologia costruttiva massiccia tanto migliore quanto maggiore è la sostituzione di calore prodotto da gasolio anziché da metano.

Il guadagno per materiale secondario risulta soprattutto dal recupero del ferro del cemento armato, che nel nostro studio si ipotizza che venga recuperato al 100%. Poiché nella tipologia costruttiva massiccia il cemento armato presenta uno spessore (25 cm) maggiore rispetto alla tipologia costruttiva leggera (15 cm), la quantità di ferro recuperata e quindi il guadagno nel caso della tipologia costruttiva massiccia è maggiore. Il materiale di demolizione e il calcestruzzo di recupero invece possono al massimo sostituire materiali litoidi primari. Il recupero di materiali litoidi primari tuttavia, date le minori distanze di trasporto al deposito primario, in questo caso non è legato a grossi oneri ambientali. Il problema del risparmio di risorse nel caso di materiali litoidi primari non si esprime in corrispondenti oneri ambientali e quindi va valutato indipendentemente da essi.

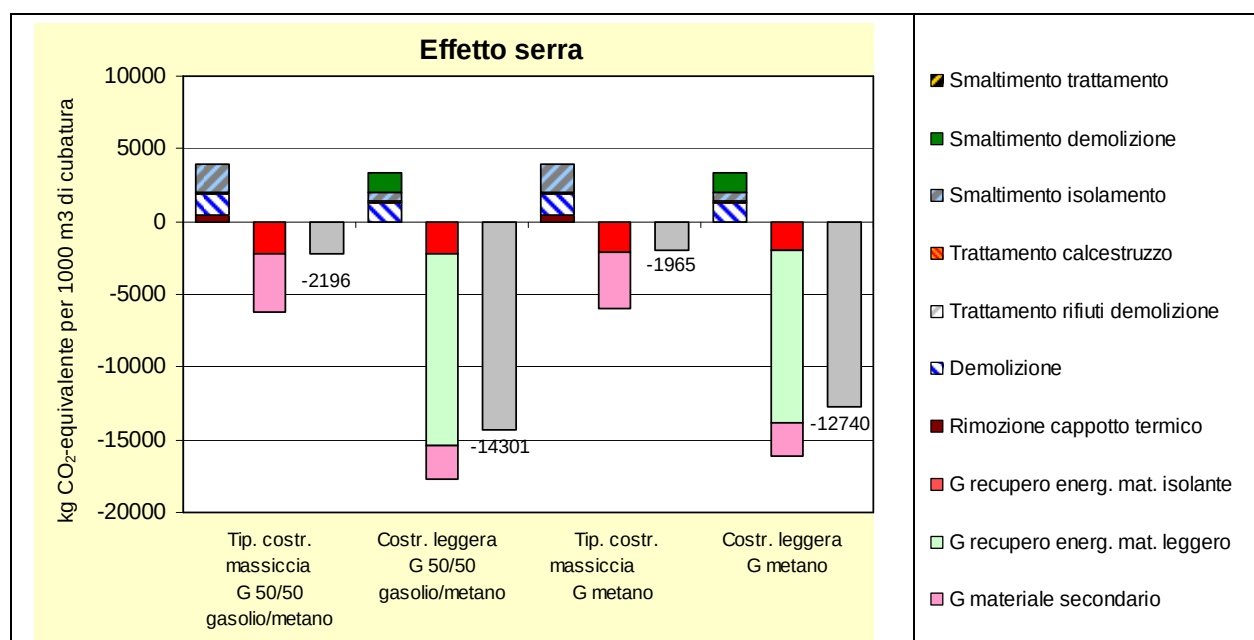


Fig. 29: Risultati per la categoria cambiamento del clima (effetto serra)

3.2.2 Acidificazione, eutrofizzazione terrestre, polveri sottili (PM 10)

Riguardo al potenziale di acidificazione (vedi Fig. 30) la combustione dei materiali lignei della tipologia costruttiva leggera comporta degli oneri maggiori (settore „smaltimento demolizione“) rispetto alla combustione del sistema termoisolante a cappotto contenente materie plastiche della tipologia costruttiva massiccia (settore „smaltimento sistema termoisolante a cappotto“). L'emissione di ossidi di azoto è la principale causa di acidificazione. Gli ossidi di azoto si formano nel processo di combustione in relazione al volume di gas emessi. La combustione dei materiali lignei e delle travi in legno della tipologia costruttiva leggera comporta, a causa della maggiore quantità in gioco, un maggiore flusso di gas emessi rispetto alla combustione del sistema termoisolante a cappotto della tipologia costruttiva massiccia, mentre la muratura della tipologia costruttiva massiccia non contribuisce ad emissioni acidificanti. Le emissioni di ossidi di azoto spiegano il maggior contributo dell'impiego di macchine, rispetto all'effetto serra, in conseguenza della demolizione con distacco e scorticamento dell'isolamento (settore „demolizione“), all'intero sistema. Il guadagno per l'energia, che nel caso della tipologia costruttiva leggera, come già spiegato per l'effetto serra, è maggiore, non ha qui un peso così forte, poiché le emissioni di NO_x e SO_x durante la produzione di energia, grazie alla depurazione dei fumi, sono minori, mentre, al contrario, l'effetto di sostituzione rimane uguale per effetto della maggior quantità di ferro secondario nella tipologia costruttiva massiccia. La tipologia costruttiva massiccia perciò, per quanto riguarda l'acidificazione, non presenta risultati molto peggiori rispetto alla tipologia costruttiva leggera. Ciò vale in particolare nel caso in cui con l'energia termica prodotta dall'inceneritore di rifiuti si sostituisce calore prodotto esclusivamente con metano.

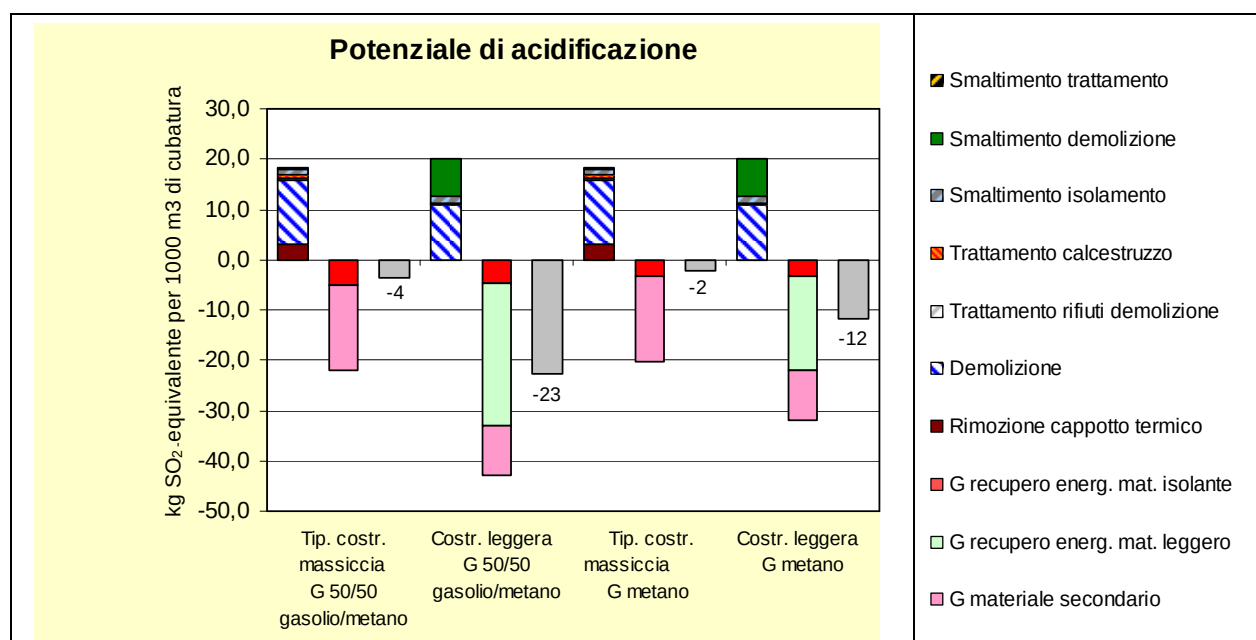


Fig. 30: Risultati per la categoria potenziale di acidificazione

Poiché anche l'eutrofizzazione terrestre (vedi Fig. 31) è regolata dagli NO_x, per questa categoria valgono considerazioni analoghe a quelle fatte per l'acidificazione.

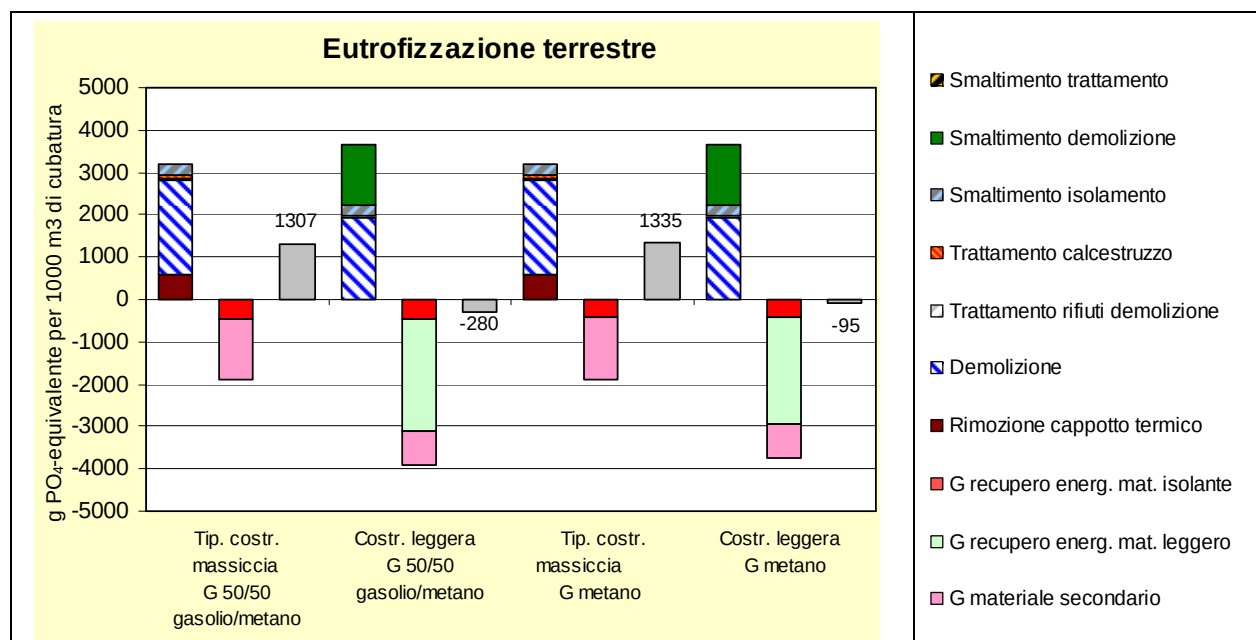


Fig. 31: Risultati per la categoria eutrofizzazione terrestre

Le polveri sottili designano emissioni di particelle $\leq 10 \mu\text{m}$ (Fig. 32) nell'aria. Anche in questo caso il contributo principale è rappresentato sia dall'impiego di macchine per la demolizione e lo smaltimento del sistema termoisolante a cappotto sia dal processo di combustione nell'inceneritore di rifiuti.

L'emissione di polveri dall'inceneritore di rifiuti dipende dal volume di fumi emessi e quindi per lo smaltimento dei materiali da costruzione della tipologia costruttiva leggera risulta maggiore che per lo smaltimento del sistema termoisolante a cappotto della tipologia costruttiva massiccia. Ecoinvent (versione 2.2) indica per lavori di demolizione e trattamento nel caso di cemento e muratura un totale di $8 \cdot 10^{-5} \text{ kg PM}_{10}/\text{kg}$ di rifiuto minerale. Questo valore è stato assunto in questo studio ed è riportato nel settore „demolizione“. Si ipotizza che nei lavori di demolizione e trattamento della parete esterna della tipologia costruttiva leggera non vi siano emissioni di polveri, il che può essere discutibile.

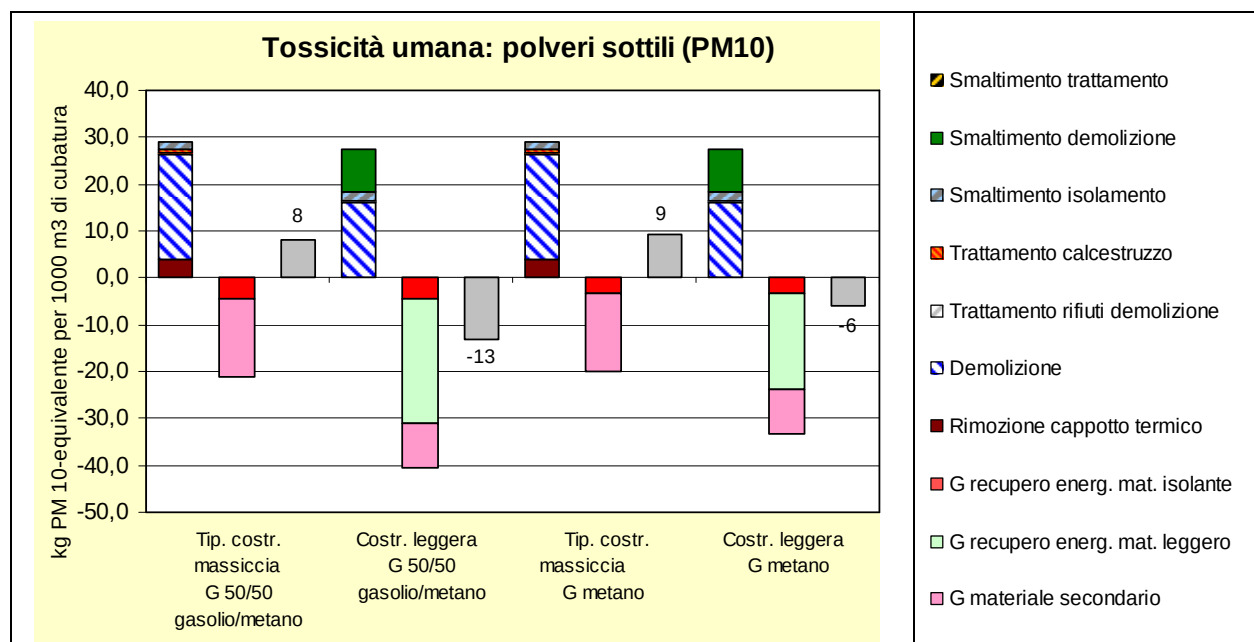


Fig. 32: Risultati per la categoria polveri sottili

3.2.3 Normalizzazione dei risultati

Per comprendere il significato delle differenze di impatto ambientale tra lo smaltimento di una tipologia costruttiva massiccia e di una tipologia costruttiva leggera è opportuno normalizzare i risultati. A tal fine si prendono come base di riferimento le emissioni annue pro-capite di un cittadino medio EU e si normalizzano i risultati in modo da esprimerli come valori medi per abitante (EDW). Poichè si tratta di EDW annui, si è scelto di estrapolare i risultati dell'unità funzionale considerata di 1000 m^3 all'attività edilizia annua in Alto Adige.

Dal 2002 al 2012 in Alto Adige sono state costruite 3214 nuove CaseClima. Partendo dunque da una cubatura media di 1693 m^3 per casa, l'aumento di cubatura di CaseClima negli ultimi 11 anni è stato di ca. 5 Mio m^3 , quindi di ca. 500.000 m^3 all'anno. Per semplicità si è ipotizzato che alla nuova costruzione di CaseClima corrisponda un equivalente numero di CaseClima demoli-

te. Per una tale attività di demolizione risultano gli impatti ambientali normalizzati riportati in Fig. 33 in riferimento alla tipologia costruttiva massiccia risp. leggera.

Anche in forma normalizzata sono evidenti le grandi differenze tra i due sistemi costruttivi nella categoria „Cambiamento del clima“ (effetto serra). Nelle altre categorie, invece, la differenza è inferiore di oltre la metà, tuttavia non così drasticamente inferiore come si potrebbe ipotizzare in base ai risultati normalizzati.

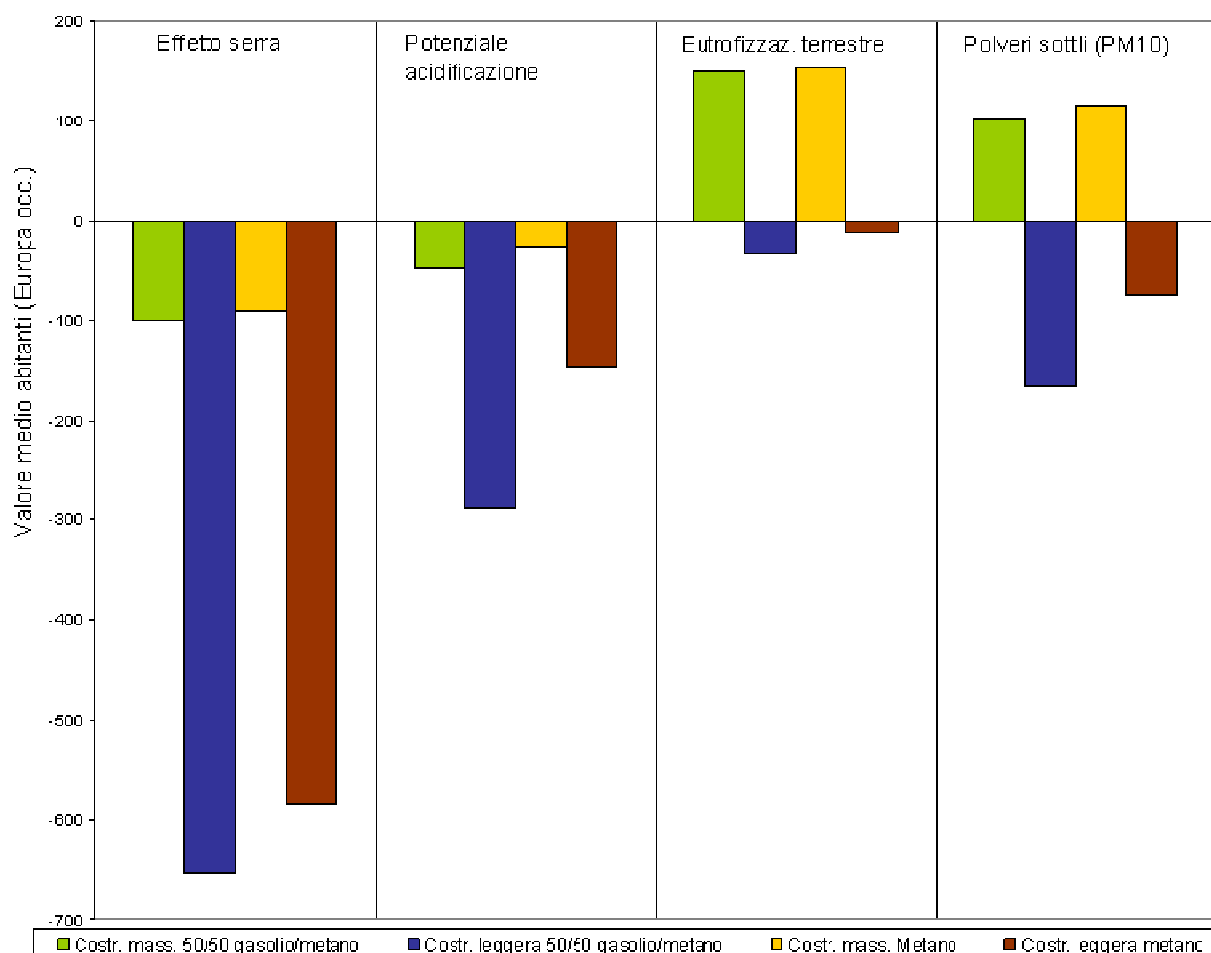


Fig. 33: Effetti ambientali dell'attività annua di demolizione in Alto Adige in valori medi per abitante (cittadini EU)

3.2.4 Analisi di sensibilità

Nel calcolo standard nel caso della tipologia costruttiva massiccia il collante del sistema termoisolante a cappotto è trascurato. Accanto a ciò in Fig. 34 e Fig. 35 si vede come cambia il risultato se si assume un quantitativo di collante di 5 kg/m² nel sistema termoisolante a cappotto.

Il collante nel sistema termoisolante a cappotto è ipotizzato come collante di tipo minerale. In tal modo aumenta solo la percentuale di massa inerte che perviene assieme al sistema termoisolante a cappotto nell'inceneritore di rifiuti. Il risultato per il sistema di tipologia costruttiva massiccia ne risulta peggiorato ma solo in forma lieve.

Nella tipologia costruttiva leggera nel calcolo standard si parte dall'assunto di un isolamento con lana di roccia. Le Fig. 34 e Fig. 35 mostrano i risultati per la tipologia costruttiva leggera nel caso di isolamento con EPS.

L'isolamento con EPS peggiora leggermente il risultato del sistema di tipologia costruttiva leggera rispetto all'effetto serra. Il guadagno per l'energia recuperata con la combustione dell'EPS nell'inceneritore di rifiuti (GS recupero energ. materiale isolante) non può compensare le emissioni di anidride carbonica connesse alla combustione della plastica (smaltimento isolamento). Esattamente il contrario avviene riguardo alla categoria „potenziale di acidificazione“, dato che qui l'aumento di guadagno è maggiore rispetto all'incremento delle emissioni.

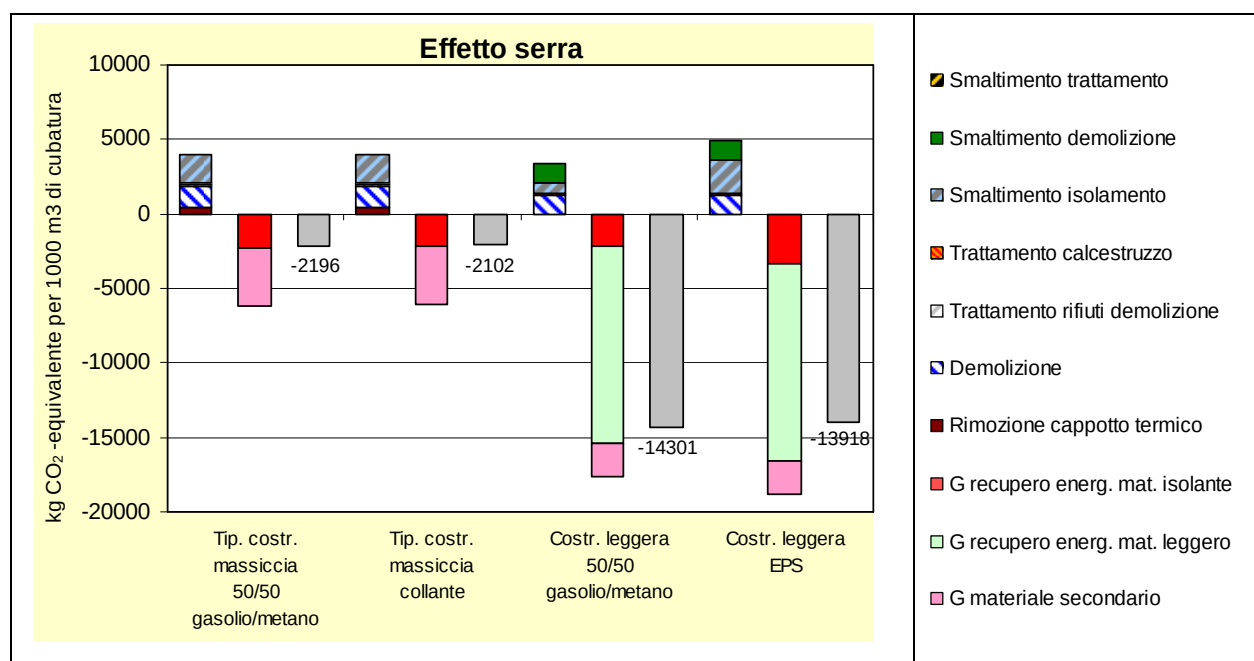


Fig. 34: Analisi di sensibilità per l'effetto serra: considerazione della massa di collante nel sistema termoisolante a cappotto della struttura massiccia; isolamento della tipologia costruttiva leggera con polistirolo anziché con lana di roccia

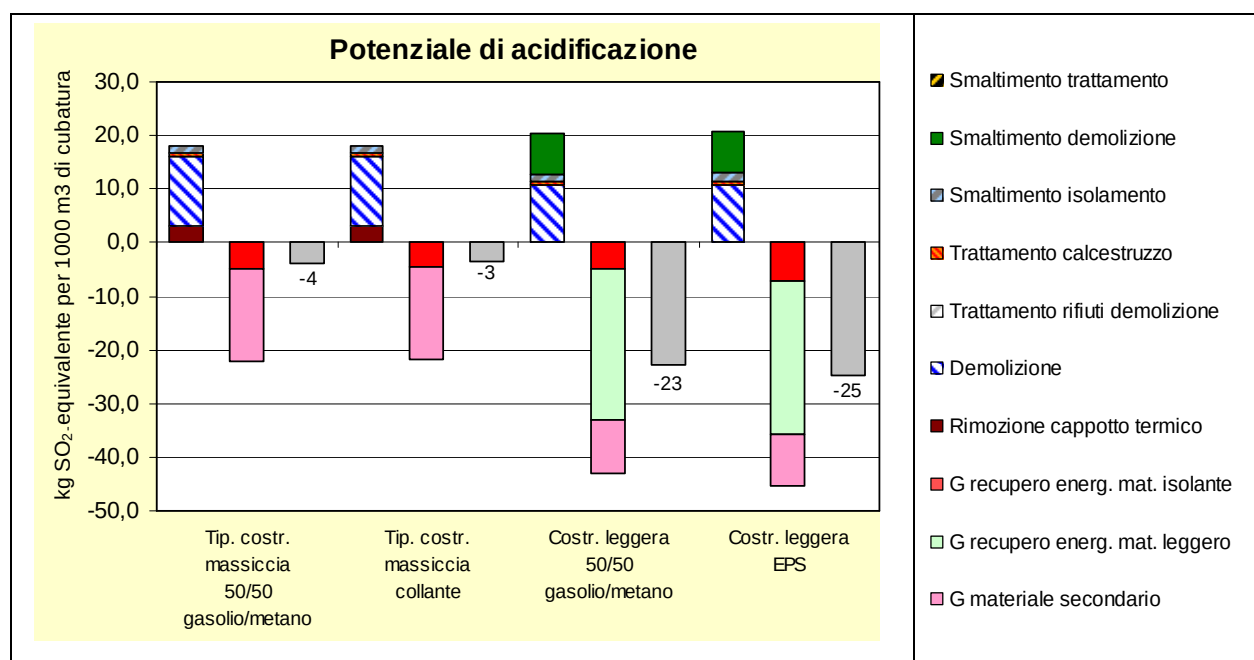


Fig. 35: Analisi di sensibilità per il potenziale di acidificazione: considerazione della massa di collante nel sistema termoisolante a cappotto della struttura massiccia; isolamento della tipologia costruttiva leggera con polistirolo anziché con lana di roccia

3.2.5 Discussione dei risultati

Il processo di demolizione della tipologia costruttiva massiccia, a causa del maggior impiego di macchine, è connesso a maggiori oneri ambientali rispetto alla demolizione della tipologia costruttiva leggera. Gli oneri connessi al trattamento del materiale di demolizione sono in confronto talmente ridotti, da essere praticamente non riportabili graficamente. Corrispondentemente risulta trascurabile il fatto che nel caso della tipologia costruttiva massiccia grandi quantitativi di materiali debbano essere fatti passare attraverso l'impianto di trattamento dei materiali di demolizione. Un effetto significativo sul risultato lo ha invece il rottame di ferro recuperato dal calcestruzzo armato di demolizione, in particolare nel caso della tipologia costruttiva massiccia, così che si dovrebbe puntare ad un riciclaggio del 100% per questo materiale.

Decisivo per i risultati della tipologia costruttiva leggera decisamente migliori riguardo al cambiamento del clima (effetto serra), rispettivamente abbastanza migliori riguardo alle altre categorie, è il guadagno energetico per la combustione dei materiali da costruzione lignei ivi impiegati. Fintantoché l'energia recuperata va a sostituire completamente energia prodotta in modo convenzionale e quest'ultima sia prodotta principalmente con l'impiego di combustibili fossili, nel bilancio ecologico il guadagno per l'energia prodotta dalla combustione di legno è predominante.

In questo studio si assume che la quota di energia elettrica nel guadagno energetico sostituisca energia elettrica della rete italiana e la quota calore sostituisca calore da centrali di riscaldamento sulla base di un rapporto del 50% di gasolio e del 50% ovvero 100% di metano. L'effetto di sostituzione è massimamente accentuato nella categoria cambiamento del clima (effetto serra), dato che in essa non vi sono oneri legati alla combustione del legno, mentre nelle altre categorie gli oneri legati alla combustione del legno sono evidenti e i vantaggi legati ai guadagni diminuiscono. Inoltre la combustione del sistema termoisolante a cappotto con materiali termoisolanti su base fossile peggiora il risultato per la tipologia costruttiva massiccia riguardo al cambiamento del cli-

ma (effetto serra). Il fatto di considerare il collante minerale nel sistema termoisolante a cappotto non ha quasi alcun effetto sul sistema della tipologia costruttiva massiccia. Un passaggio dalla lana di roccia all'EPS come materiale isolante nella tipologia costruttiva leggera comporta un leggero peggioramento nell'effetto serra ed un leggero miglioramento invece nelle altre categorie.

Se il guadagno energetico connesso alla combustione del legno dovesse risultare inferiore (ad esempio se si produce energia tradizionale sulla base di fonti di energia rinnovabili), il risultato sarebbe più dominato dagli oneri e dal guadagno legato al ferro. Nella categoria cambiamento del clima (effetto serra) per la tipologia costruttiva massiccia anche con questa ipotesi si avrebbero difficilmente risultati migliori utilizzando un sistema termoisolante a cappotto con materiali termoisolanti di origine fossile. Nelle altre categorie, invece, il risultato potrebbe pendere a favore della tipologia costruttiva massiccia.

3.3 Tipologie costruttive e impatti ecologici a monte

Nel capitolo precedente sono stati descritti gli aspetti ecologici della demolizione e dello smaltimento di CaseClima in un bilancio ecologico comparativo. In esso si sono confrontati sotto il profilo ecologico lo smaltimento dei rifiuti relativi alle due tipologie costruttive con uguali standard energetici e uguali dimensioni di edificio. Non si può tuttavia escludere che l'alternativa ecologicamente più favorevole sotto il profilo dello smaltimento (tipologia costruttiva leggera) risulti diversa in una valutazione sotto il profilo della produzione dei prodotti edili impiegati. Per verificare ciò è necessario confrontare gli impatti ecologici a monte per le due tipologie costruttive alternative.

A tal fine di seguito sono stati descritti e valutati gli impatti ecologici a monte relativi alla produzione dei prodotti edili impiegati in entrambe le tipologie costruttive.

Nelle valutazioni successive non sono stati considerati i trasporti fino al cantiere dei prodotti edili impiegati né gli oneri per la costruzione dell'edificio. Si è infatti assunto che le distanze di trasporto dei vari prodotti edili dallo stabilimento di produzione al cantiere siano le stesse per entrambe le tipologie costruttive e che inoltre gli oneri per la realizzazione dell'edificio siano incomparabilmente inferiori rispetto a quelli per la produzione dei prodotti edili e quindi non siano rilevanti ai fini della valutazione complessiva.

Analogamente al capitolo „Bilancio ecologico comparativo“ l'unità funzionale per l'impatto ecologico a monte è costituita dall'involucro esterno di CaseClima di uguale standard di isolamento per una cubatura di 1000 m³.

3.3.1 Metodologia di analisi, dati, fonti

Per la descrizione e l'interpretazione degli impatti ecologici relativi ai prodotti da costruzione impiegati nelle due tipologie costruttive considerate si sono assunti gli stessi materiali e gli stessi quantitativi del capitolo precedente. Per poter effettuare una valutazione si sono presi in considerazione diversi gruppi di dati riguardo ai prodotti con relative categorie di impatto ambientale. Questi gruppi di dati contengono indicazioni generali riguardo a:

- Caratteristiche tecniche
- Descrizioni tecniche compresi sistemi a monte
- Fonti dei dati
- Categorie di impatto ambientale

Per tutti i gruppi di dati il limite del sistema è costituito dal prodotto pronto per la spedizione all'uscita dallo stabilimento (cradle-to-gate). In tutti i gruppi di dati per le categorie di impatto ambientale „Cambiamento del clima (effetto serra)“ (kg di CO₂-equivalenti) e „Potenziale di acidificazione“ (kg di SO₂-equivalenti) i valori sono riferiti a **1 m³** di prodotto edile. Nel caso in cui per un determinato prodotto edile vi fossero più gruppi dati derivanti da una o più fonti, i risultati sono stati indicati come valore unico o come campo di valori.

I gruppi di dati provengono da due diverse fonti, da un lato dalla banca dati Ökobaumat e dall'altro dalle cosiddette „dichiarazioni ambientali relative ai prodotti“ (UPD) redatte dall'„Institut Bauen und Umwelt e.V.“ in conformità alle norme ISO 14025.

Di seguito sono riportati i dati relativi ai materiali da costruzione ed ai materiali termoisolanti per le due tipologie costruttive alternative, distinguendo tra prodotti per pareti esterne e per platea di fondazione. Poiché taluni prodotti vengono utilizzati in entrambe le tipologie costruttive (tra l'altro cemento armato), si è rinunciato in tal caso a riportare ex novo gli stessi dati.

3.3.1.1 Dati pareti esterne (materiali da costruzione e isolanti)

Mattoni per muratura porizzati (valori medi)

Caratteristiche tecniche:

Densità (media di calcolo): 740 kg/m³ (620 - 820 kg/m³)

Descrizione tecnica compresi sistemi a monte

L'analisi del ciclo di vita (LCA) dei mattoni comprende tutti i percorsi „cradle-to-gate“, ossia le fasi di produzione di materie prime e ausiliarie, che vanno considerate allo stesso modo della produzione vera e propria dei mattoni, compresa gestione dello stabilimento e imballaggio (bancali in legno, fogli in PE) nonché recupero degli imballi. Come materie prime vengono soprattutto impiegate sabbia e farina di calcare. Dopo l'estrazione della materia prima vi sono i processi di formatura, essiccamento e cottura.

Fonti dei dati:

Categorie di impatto ambientale : Ökobaumat

Dati tecnici:

- Ziegel-Lexikon, 1997
- D.A.CH Bericht Österreich: Bilancio ecologico mattoni – Valutazione ecologica di mattoni per muratura, Akt. 2004
- Bilancio ecologico mattoni per muratura - Bilancio ecologico ed analisi economica costruzioni pareti esterne

Categorie di impatto ambientale:

Potenziale effetto serra (GWP 100):	93,24	kg CO ₂ -eqv./m ³ materiale edile
Potenziale acidificazione (AP):	0,1687	kg SO ₂ -eqv./m ³ materiale edile

Legno pieno da costruzione

Per il presente gruppo di dati sono state utilizzate UPD (elaborate in conformità a ISO 14025) per prodotti in legno pieno della ditta EGGER s.r.l. Le UPD sono state redatte dall'Institut Bauen und Umwelt e.V. nell'anno 2011.

Caratteristiche tecniche:

Densità 430 kg/m³ (atro)

Descrizione tecnica compresi sistemi a monte

Il limite del sistema scelto comprende la fabbricazione dei prodotti dalla preparazione delle materie prime fino al prodotto imballato all'uscita dallo stabilimento („cradle to gate“). Nella fabbricazione è compreso anche il recupero energetico dell'imballaggio. I quantitativi impiegati di materie prime, energie, materiali di consumo e ausiliari sono stati rilevati come valori medi annui dalla ditta Egger presso la sede della segheria a Brilon. I dati impiegati si riferiscono agli effettivi processi di produzione del 2009. I dati base per la produzione sono stati messi a disposizione dalla segheria EGGER-Brilon che ha partecipato al rilevamento dei dati. L'intera catena foresta-legno è stata derivata dagli studi Rüter 2007, Frühwald 2000, Schweinle&Thoroe 2001.

Fonti dei dati:

Categorie di impatto ambientale : IBU Dichiarazione ambientale prodotti

Dati tecnici:

- GaBi4 software e banca dati 2006
- NetLZ-Relazione di progetto "Principi fondamentali per legno e materiali lignei", 2007
- Bilancio ecologico comparativo della produzione di legno tondo in diverse aziende forestali - BFH Report 204
- Bilancio ecologico di legname per edilizia e prodotti in legno pieno, 2000

Categorie di impatto ambientale:

Potenziale effetto serra (GWP 100):	50,0	kg CO ₂ -eqv./m ³ materiale edile
Potenziale acidificazione (AP):	0,183	kg SO ₂ -eqv./m ³ materiale edile

Pannello truciolare (in media)

Per il presente gruppo dati sono state impiegate UPD (redatte in conformità a ISO 14025) per pannelli intruciolare di legno della ditta EGGER GmbH nonché della ditta Pfleiderer GmbH. Le UPD sono state redatte dall'Institut Bauen und Umwelt e.V. nel 2011 e 2012. Per il presente gruppo di dati sono stati creati per le categorie di impatto ambientale dei valori medi relativi ai prodotti tratti dalle due UPD.

Caratteristiche tecniche:

Densità 678 kg/m³ (670 - 685 kg/m³) (umidità 5,5 %)

Descrizione tecnica compresi sistemi a monte

Per realizzare il modello del ciclo di vita relativo alla produzione ed allo smaltimento di pannelli truciolari grezzi e rivestiti è stato impiegato il sistema di software per il bilanciamento globale "GaBi 4" (GaBi 2006). Tutti i dati base rilevanti riguardo alla produzione ed allo smaltimento sono stati tratti dalla banca dati del software GaBi 4. Il bilancio relativo alla catena a monte per la parte forestale è stato svolto in conformità a Schweinle&Thoroe/ 2001 ovvero /Hasch 2002/ nella forma attualizzata di Rüter e Albrecht (2007).

Fonti dei dati:

Categorie di impatto ambientale: IBU Dichiarazione ambientale prodotti

Dati tecnici:

- GaBi4 - software e banca dati 2006
- Dichiarazione IBU Egger: Egger EUROSPAN (EPD-EHW-2008511-D), 2012
- Dichiarazione IBU Pfleiderer: Living Board Spanplatte (EPD-PFL-2009111-D), 2011

Categorie di impatto ambientale:

	campo variazione	media
Potenziale effetto serra GWP 100):	(235 - 274)	254,5 kg CO ₂ -eqv./m ³ mat. edile
Potenziale acidificazione (AP):	(1,18 – 1,23)	1,205 kg SO ₂ -eqv./m ³ mat. edile

Pannello in fibra di legno medio-dura per pareti esterne

Per il presente gruppo dati sono state impiegate UPD (redatte in conformità a ISO 14025) relative a prodotti in legno pieno della ditta Glunz AG. Le UPD sono state redatte dall'Institut Bauen und Umwelt e.V. nel 2011.

Caratteristiche tecniche:

Densità 565 kg/m³

Limiti del sistema

I limiti del sistema scelto comprendono le produzioni del pannello MDF compreso approvvigionamento delle materie prime fino al prodotto imballato all'uscita dallo stabilimento (cradle to gate).

Fonti dei dati:

Categorie di impatto ambientale: IBU Dichiarazione ambientale prodotti

Dati tecnici:

- GaBi4 - Software e banca dati 2006
- Dichiarazione IBU Glunz AG, (EPD-GLU-2010111-D) Pannelli in fibra di legno
- Bilancio ecologico comparativo della produzione di legno tondo in diverse aziende forestali - BFH Report 204

Categorie di impatto ambientale:

Potenziale serra (GWP 100):	484	kg CO ₂ -eq./m ³ materiale
Potenziale acidificazione (AP):	0,917	kg SO ₂ -eq./m ³ materiale

Pannello in cartongesso come intonaco interno**Caratteristiche tecniche:**

Materiale commerciale: 10 kg/m², spessore 12,5 mm

Densità 800 kg/m³

Descrizione tecnica compresi sistemi a monte

Il presente gruppo dati è già stato corredato di un coefficiente di sicurezza aggiuntivo del 10% sui risultati, in assenza di dati forniti da un istituto indipendente. Il profilo ambientale comprende gli oneri per gli stadi del ciclo di vita completo "Cradle to Gate". Esso è basato principalmente su dati rilevati direttamente dall'industria.

Fonti dei dati:

Categorie di impatto ambientale: Ökobaudat

Dati tecnici:

- Rilevazioni dati in stabilimenti di gesso, 2007
- Gips-Datenbuch, 2006
- GaBi4 - Software e banca dati 2006

Categorie di impatto ambientale :

Potenziale effetto serra (GWP 100):	172,8	kg CO ₂ -eqv./m ³ materiale edile
Potenziale acidificazione (AP):	2,260	kg SO ₂ -eqv./m ³ materiale edile

Malte e intonaci minerali – Intonaci normali (valori medi)

Per il presente gruppo dati è stata impiegata una UPD redatta in conformità a ISO 14025 per cosiddetto intonaco normale del Gruppo Quick-Mix GmbH. L'UPD è stata redatta dall'Institut Bauen und Umwelt e.V. nel 2009. Dalla UPD sono stati tratti valori medi di diversi prodotti per le categorie di impatto ambientale.

Caratteristiche tecniche:

Densità: (media di calcolo): 1550 kg/m³ (1300 - 1800 kg/m³)

Descrizione tecnica compresi sistemi a monte

L'analisi del ciclo di vita dei prodotti esaminati comprende la produzione della malta inclusa estrazione delle materie prime e predisposizione delle fonti di energia fino al prodotto finito e imballato, il trasporto del prodotto in cantiere, la fase di utilizzo nonché lo smaltimento della malta. Per i prodotti in silo sono state considerate le quote degli oneri per il trasporto e la fabbricazione del silo. Anche la combustione dell'imballo incluso il recupero di energia sono compresi nel bilancio ecologico. Per il calcolo della produzione di energia e dei trasporti si è fatto riferimento alla banca dati GaBi 4 /GaBi 2007/.

Fonti dei dati:

Categorie di impatto ambientale: IBU Dichiarazione ambientale prodotti

Dati tecnici:

- GaBidatabases 2007
- Dichiarazione IBU Malte minerali per intonaci – Intonaci normali (EPD-QMX-2009211-D), 2009

Categorie di impatto ambientale :

	Campo variazione	media
Potenziale effetto serra (GWP 100):	(233 - 283)	258,0
Potenziale acidificazione (AP):	(0,365 – 0,443)	0,404

Materiale isolante in polistirolo espanso (EPS) (valori medi)

Per il presente gruppo dati sono stati creati per le categorie di impatto ambientale valori medi tratti da diversi gruppi di dati provenienti dalla banca dati Ökobaumat relativi a materiali termoisolanti in polistirolo espanso (EPS) impiegati come isolamento di pareti ovvero in un sistema termoisolante a cappotto.

Caratteristiche tecniche:

Densità (media di calcolo): 17,5 kg/m³ (15 - 25 kg/m³)

Descrizione tecnica compresi sistemi a monte

Il presente gruppo dati è già stato corredato di un coefficiente di sicurezza aggiuntivo del 10% sui risultati, in assenza di dati forniti da un istituto indipendente. Il profilo ambientale è basato principalmente su ricerche bibliografiche e su dati rilevati direttamente dall'industria.

Fonti dei dati:

Categorie di impatto ambientale : Ökobaumat

Dati tecnici:

- GaBi databases 2006
- Dichiarazione IBU-IVH; schiuma dura di EPS (Styropor) per pareti e soffitti (EPD-IVH-2009311-D), 2009

Categorie di impatto ambientale :

	campo variazione	media
Potenziale effetto serra (GWP 100):	(45,6 – 81,8)	52,5 kg CO ₂ -eqv./m ³ mat. isolante
Potenziale acidificazione (AP):	(0,097 – 0,171)	0,111 kg SO ₂ -eqv./m ³ mat. isolante

Materiale isolante in schiuma minerale (Porenbeton)

Per questo gruppo dati è stata impiegata una (UPD) conforme a ISO 14025 per il prodotto „Pannello isolante minerale Multipor“ der Xella Dämmsysteme GmbH. L'UPD è stata redatta dall'Institut Bauen und Umwelt e.V. nel 2009. I suddetti prodotti sono elementi isolanti minerali di diverso formato in Porenbeton con altissima percentuale di pori. I pannelli isolanti minerali Multipor appartengono al gruppo dei calcestruzzi alleggeriti porizzati, induriti al vapore.

Caratteristiche tecniche:

Densità: 115 kg/m³

Descrizione tecnica compresi sistemi a monte

Il bilancio ecologico è stato svolto in conformità alla norma DIN ISO 14040 ff. Come base di dati ci si è riferiti all'anno 2004. Il bilancio ecologico è stato effettuato per la fase di produzione dei prodotti tenendo conto delle catene a monte, quali l'estrazione delle materie prime e i trasporti („cradle to gate“). Esso è basato principalmente su dati rilevati direttamente dall'industria.

Fonti dei dati:

Categorie di impatto ambientale : Institut Bauen und Umwelt e.V.

Dati tecnici:

- GaBi databases 2006
- Dichiarazione IBU Xella – Pannello isolante minerale Multipor (EPD- XEL-2009212-D), 2009
- Documento PCR „Porenbeton: 2004-11“

Categorie di impatto ambientale:

Potenziale effetto serra (GWP 100):	127,6	kg CO ₂ -eqv./m ³ mat. isolante
Potenziale acidificazione (AP):	0,230	kg SO ₂ -eqv./m ³ mat. isolante

Pannello isolante in fibra di legno (media)

Per questo gruppo dati è stata impiegata una (UPD) conforme a ISO 14025 per pannelli in fibra di legno fabbricati con processo a secco della ditta GUTEX GmbH. L'UPD è stata redatta dall'Institut Bauen und Umwelt e.V. nel 2011. Dalla UPD sono stati tratti valori medi di diversi prodotti per le categorie di impatto ambientale.

Caratteristiche tecniche:

Densità (media di calcolo): 160 kg/m³ (110 - 190 kg/m³)

Descrizione tecnica compresi sistemi a monte

Il bilancio ecologico è stato svolto in conformità alla norma DIN ISO 14040 ff. Come base di dati ci si è riferiti agli anni di produzione 2009 e 2010. Il bilancio ecologico è stato effettuato per la fase di produzione dei prodotti tenendo conto di tutte le catene a monte, quali l'estrazione delle materie prime e i trasporti („cradle to gate“). Esso è basato principalmente su dati rilevati direttamente dall'industria.

Fonti dei dati:

Categorie di impatto ambientale: IBU Dichiarazione ambientale prodotti

Dati tecnici:

- GaBi databases 2006
- Dichiarazione IBU Gutex Pannello isolante in fibra di legno (EPD-GTX-2011111-D), 2009
- Documento PCR „Materiali lignei“, 2009-11

Categorie di impatto ambientale:

	Campo variazione	media
Potenziale effetto serra (GWP 100):	(59,0 – 116,3)	91,775 kg CO ₂ -eqv. /m ³ mat. isolante
Potenziale acidificazione (AP):	(0,091 – 0,181)	0,1433 kg SO ₂ -Äqv. /m ³ mat. isolante

Materiale isolante in lana di roccia (media)

Per il presente gruppo dati sono stati creati per le categorie di impatto ambientale valori medi tratti da diversi gruppi di dati provenienti dalla banca dati Ökobaudat relativi a materiali termoisolanti in lana di roccia. Di seguito sono riportati i campi di variazione per le categorie di impatto ambientale dei materiali termoisolanti.

Caratteristiche tecniche:

Dichte 121,6 kg/m³ (102,5 - 150 kg/m³)

Descrizione tecnica compresi sistemi a monte

Il presente profilo ambientale comprende gli oneri per tutti gli stadi del ciclo di vita "Cradle to Gate". Esso è basato principalmente su dati rilevati direttamente dall'industria..

La lana di roccia è un materiale isolante minerale, il cui componente principale è costituito da fibre minerali monofile artificiali di struttura non cristallina, ricavate da silicati fusi.

Fonti dei dati:

Categorie di impatto ambientale : Ökobaudat

Dati tecnici:

- GaBi4 Software e banca dati 2006
- Dichiarazione AUB Rockwool: Materiali termoisolanti in lana di roccia legati con resina sintetica, senza rivestimento
- Dichiarazione IBU Saint-Gobain ISOVER G+H: Pannelli e feltri in lana di roccia non rivestiti, 2008

Categorie di impatto ambientale:

	Campo variazione	media
Potenziale effetto serra (GWP 100):	(120 – 202,5)	167,47 kg CO ₂ -eqv./m ³ mat. isolante
Potenziale acidificazione (AP):	(0,5512 – 1,0875)	0,1433 kg SO ₂ -eqv./m ³ mat. Isolante

3.3.1.2 Dati platea di fondazione (materiali da costruzione e isolanti)**Cemento armato**

Nelle banche dati non esistono dati relativi alle categorie di impatto ambientale per il materiale edile cemento armato. Per poter tuttavia fornire una valutazione del materiale si sono combinate le categorie di impatto ambientale dei materiali da costruzione „calcestruzzo trasportabile C25/30“ e „acciaio per armature“.

Il materiale edile cemento armato viene impiegato, in entrambe le tipologie costruttive considerate „massiccia“ e „con intelaiatura in legno“, solo nelle platee di fondazione. Per l'acciaio di armatura si è assunta una percentuale in peso del 3% (ecoinvent.org 2011):

Categorie di impatto ambientale :

Quantità:	Potenziale effetto serra (GWP 100):	Potenziale acidificazione (AP):
1m ³ cls:	237,78 kg CO ₂ -eqv./m ³ mat. edile	0,422 kg SO ₂ -eqv./m ³ mat. edile
1m ³ acciaio:	45,58 kg CO ₂ -eqv./m ³ mat. edile	0,117 kg SO ₂ -eqv./m ³ mat. edile
1m³ cem. armato:	283,37 kg CO₂-eqv./m³ mat. edile	0,539 kg SO₂-eqv./m³ mat. edile

a. Calcestruzzo da trasporto C25/30**Caratteristiche tecniche:**

Densità: 2365 kg/m³

Descrizione tecnica compresi sistemi a monte

L'analisi del ciclo di vita del calcestruzzo considerato comprende tutte le fasi "Cradle to gate", ossia la produzione delle materie prime e ausiliarie nonché del calcestruzzo da trasporto vero e proprio. Il limite del sistema è rappresentato dal prodotto pronto per la spedizione all'uscita dallo stabilimento.

Fonti dei dati:

Categorie di impatto ambientale : Ökobaudat

Dati tecnici:

- GaBi4 Software e banca dati 2006

Categorie di impatto ambientale:

Potenziale effetto serra (GWP 100):	240,0	kg CO ₂ -eqv./m ³ materiale edile
Potenziale acidificazione (AP):	0,426	kg SO ₂ -eqv./m ³ materiale edile

b. Acciaio di armatura (acciaio in barre per calcestruzzo, BSt 500)**Caratteristiche tecniche:**

Densità: 7850 kg/m³

Descrizione tecnica compresi sistemi a monte

I dati sono rappresentativi della produzione di acciaio in Germania e sono basati sui processi fondamentali nell'ambito di un'acciaieria elettrica. Il processo principale è la fusione del rottame di ferro in un forno elettrico (EAF) con apporto di energia (consumo di energia elettrica). La materia prima base dell'EAF è il rottame di acciaio derivante sia dalla stessa lavorazione all'interno dello stabilimento (sfrido) che da resti di industrie di lavorazione dell'acciaio (ad es. industria automobilistica) o di utilizzatori finali (prodotti End-of-Life). Come nell'acciaieria di tipo misto con altoforno e convertitore, per assorbire i componenti indesiderati dell'acciaio viene impiegata pietra calcarea, che serve per la formazione della scoria. Come sostanza riduttrice viene invece impiegato carbone (carbonio). Nei dati sono compresi anche i trasporti di tutte le frazioni di materiale. Per la produzione di acciaio al carbonio e di acciaio di bassa lega le fasi di processo sono sostanzialmente le seguenti: manipolazione e stoccaggio delle materie prime, carico dell'altoforno con e senza preriscaldamento del rottame di ferro, fusione del rottame EAF, spurgo delle scorie, trattamento in forno a crogiolo per garantire la qualità, recupero/smaltimento delle ceneri e infine la colata continua. Il risultato della colata continua è la bramma di acciaio. Questa viene poi lavorata in barre di acciaio con un processo di trafilatura. L'unione intima del ferro di armatura con il calcestruzzo circostante è determinante per la qualità del cemento armato. Al fine di migliorare la qualità dell'unione le barre di acciaio di armatura vengono provviste di nervature.

Fonti dei dati:

Categorie di impatto ambientale : Ökobaudat

Dati tecnici:

- GaBi4 Software e banca dati 2006

Categorie di impatto ambientale :

Potenziale effetto serra (GWP 100):	4937,65	kg CO ₂ -eqv./m ³ materiale edile
Potenziale acidificazione (AP):	12,717	kg SO ₂ -eqv./m ³ materiale edile

Materiale isolante in polistirolo estruso (XPS)**Caratteristiche tecniche:**Densità 32 kg/m³**Descrizione tecnica compresi sistemi a monte**

Il presente gruppo dati è già stato corredato di un coefficiente di sicurezza aggiuntivo del 10% sui risultati, in assenza di dati forniti da un istituto indipendente. Il profilo ambientale comprende gli oneri relativi alle fasi del ciclo di vita completo "Cradle to Gate" ed è basato principalmente su ricerche bibliografiche. La schiuma dura di polistirolo estruso (XPS) viene prodotta in un processo di estrusione continuo: il granulo di polistirolo viene fuso in un estrusore e con l'aggiunta di un propellente viene continuamente estratto attraverso un ugello a forma di larga fessura. Ne risulta una schiuma omogenea a cellule chiuse che viene messa in commercio in forma di lastre.

Fonti dei dati:

Categorie di impatto ambientale : Ökobaudat

Categorie di impatto ambientale :

Potenziale effetto serra (GWP 100): 101,12	kg CO ₂ -eqv./m ³ materiale isolante
Potenziale acidificazione (AP): 0,2234	kg SO ₂ -eqv./m ³ materiale isolante

3.3.2 Bilancio degli impatti ecologici

Di seguito sono riportati della valutazione comparativa per la produzione dei materiali da costruzione di entrambe le tipologie costruttive „massiccia“ e „leggera“. Di seguito sono descritti e valutati i risultati per le categorie di impatto ambientale „**Cambiamento del clima (effetto serra)**“ e „**Potenziale di acidificazione**“.

I seguenti diagrammi mostrano il potenziale effetto serra dei materiali per un edificio con un involucro esterno relativo ad una cubatura di 1000 m³. Per un migliore confronto dei risultati i diagrammi sono stati riportati a una scala unitaria.

Per gli impatti di sistema relativi ai materiali da costruzione e quindi anche alle tipologie costruttive vere e proprie sono determinanti:

- Il **tipo** dei materiali da costruzione e termoisolanti impiegati
- la **quantità** dei materiali da costruzione e termoisolanti impiegati

I materiali da costruzione nonché i relativi potenziali di impatto per entrambe le categorie di impatto ambientale sono stati descritti in modo esauriente nei gruppi di dati precedenti. Per una sintesi delle quantità o delle quote percentuali di materiali da costruzione è riportato di seguito un riassunto delle tabelle del capitolo „Bilancio ecologico comparativo“.

Tab 13: Riassunto dei materiali e delle % volumetriche dei prodotti in base alle tipologie costruttive

Strutture massicce con sistemi termoisolanti a cappotto		Tipologia costruttiva leggera	
Parete esterna			
Materiale	Quota vol. (%)	Materiale	Quota vol. (%)
Intonaco esterno	2,5	Rivestimento in legno esterno	7,0%
Mattone per muratura	45	Pannello truciolare esterno e interno	10,1%
Intonaco interno	2,5	Supporto in legno: materiale portante	20,9%
Sistema termoisolante a cappotto senza intonaco esterno	50	Materiale isolante lana di roccia in intercapedine	41,9%
Materiali sistema termoisolante a cappotto	Quote sistema termoisolante a cappotto	Barriera al vapore	0,5%
EPS, XPS, PS, Styropor	64,2	Pannelli isolanti in fibra di legno	16,8%
Pannelli isolanti in fibra di legno	15,5	Pannello in cartongesso	2,8%
Pannelli isolanti minerali	20,3		
Platea di fondazione			
Materiale	Quota vol. (%)	Materiale	Quota vol. (%)
Rivestimento pav. massetto, isolamento acustico anticalpestio	25	Riv. pavimento, massetto, isolamento acustico anticalpestio	33,4 %
Cemento armato	62,5; (3 % in peso acciaio)	Cemento armato	50,0; (3 % in peso acciaio)
Isolamento termico EPS	12,5	Isolamento termico EPS	16,7%

I materiali mantenuti in chiaro nella tabella, come ad es. la barriera al vapore, non sono stati considerati nel calcolo. Come già descritto nel capitolo precedente, nella platea di fondazione il massetto, il rivestimento del pavimento e l'isolamento acustico anticalpestio sono stati trascurati in quanto questi componenti sono uguali per entrambe le tipologie costruttive.

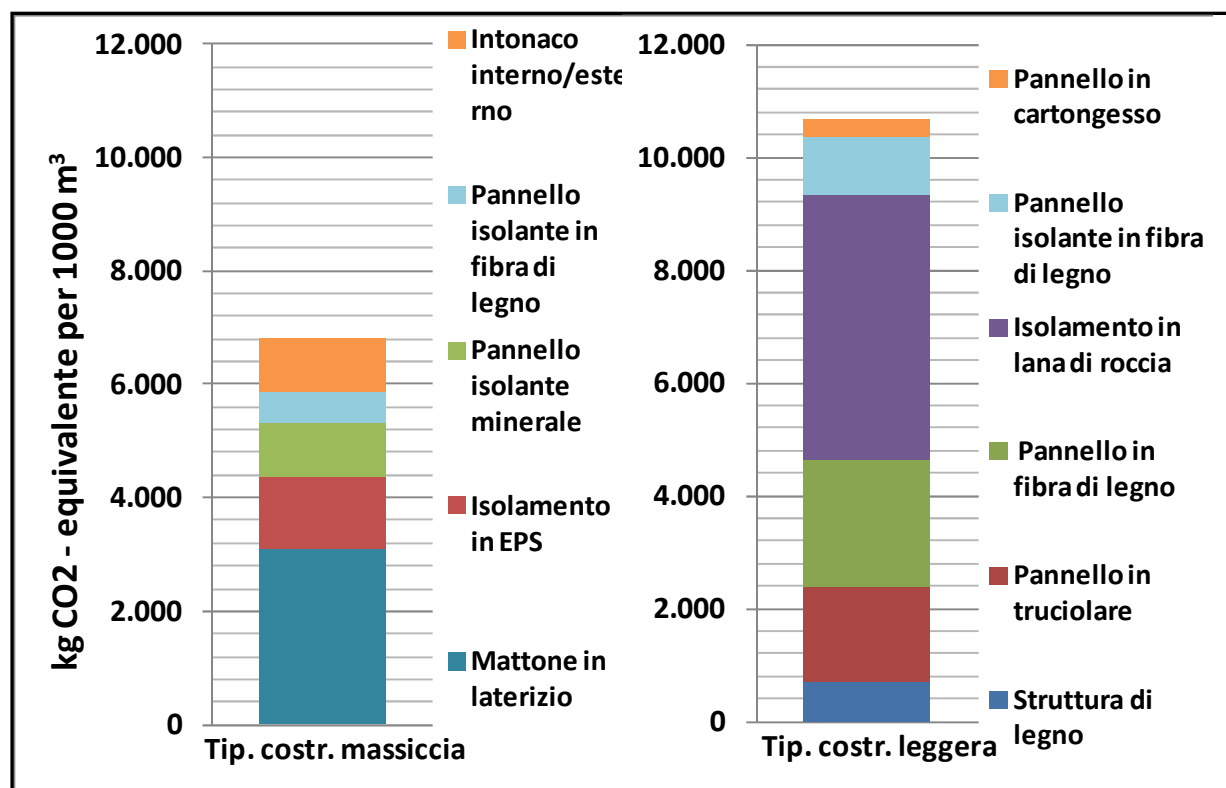
Cambiamento del clima (effetto serra)

Fig. 36: Risultati della categoria “cambiamento del clima” per le pareti esterne di entrambe le tipologie costruttive

Nella tipologia costruttiva massiccia gli impatti di sistema dei materiali da costruzione sono dominati dai laterizi e dal calcestruzzo. La produzione, ad alto consumo di energia, dei laterizi rappresenta quasi la metà degli impatti complessivi per la parete esterna della tipologia costruttiva massiccia. Il calcestruzzo rappresenta ca. il 75% per la platea di fondazione. Anche i materiali termoisolanti del sistema termoisolante a cappotto della tipologia costruttiva massiccia rappresentano tutti assieme una percentuale rilevante degli impatti di sistema. Tra tutti i materiali termoisolanti del sistema termoisolante a cappotto quelli in EPS rappresentano la quota maggiore di impatti di sistema.

I maggiori impatti di sistema nella tipologia costruttiva leggera sono rappresentati dalla produzione, ad alto consumo di energia, del materiale isolante „lana di roccia” con ca. il 45 % dell’impatto complessivo di tutti i prodotti edili della parete esterna. Anche considerando i soli materiali termoisolanti la lana di roccia rappresenta la quota massima (80 %) degli impatti di sistema. Il materiale edile portante vero e proprio, ossia il legname da costruzione, rappresenta solo una quota molto ridotta degli impatti di sistema.

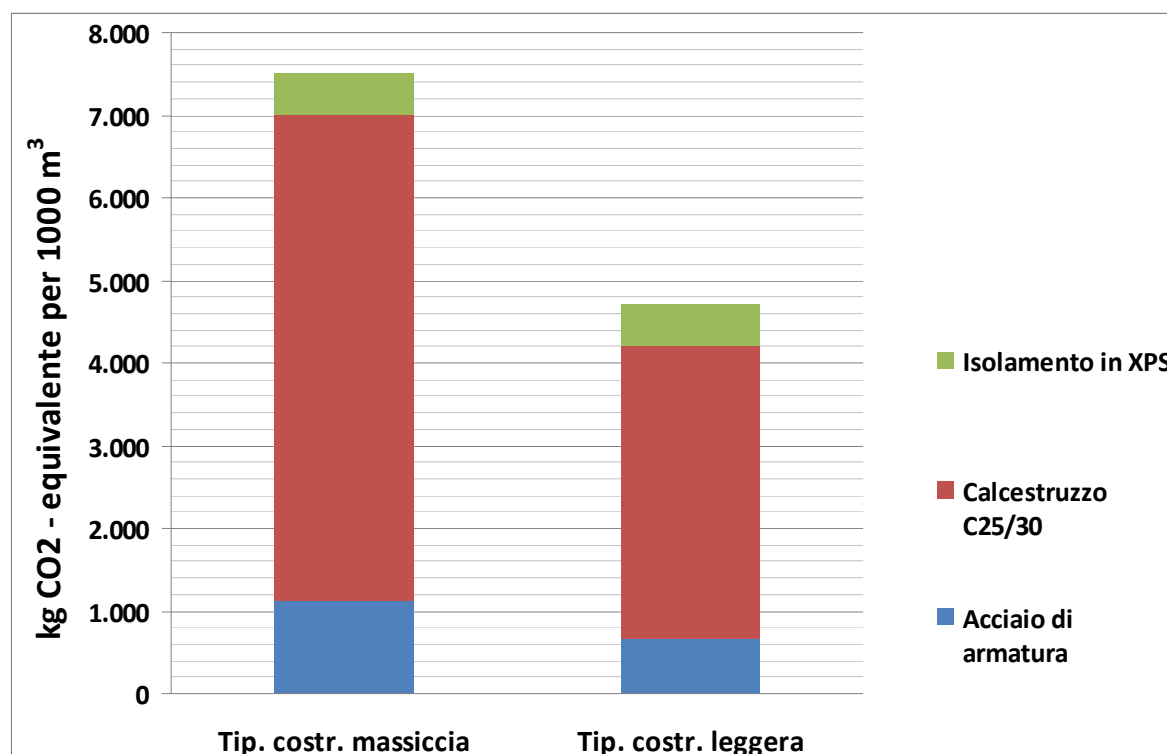


Fig. 37: Risultati della categoria “cambiamento del clima” per le platee di fondo di entrambe le tipologie costruttive

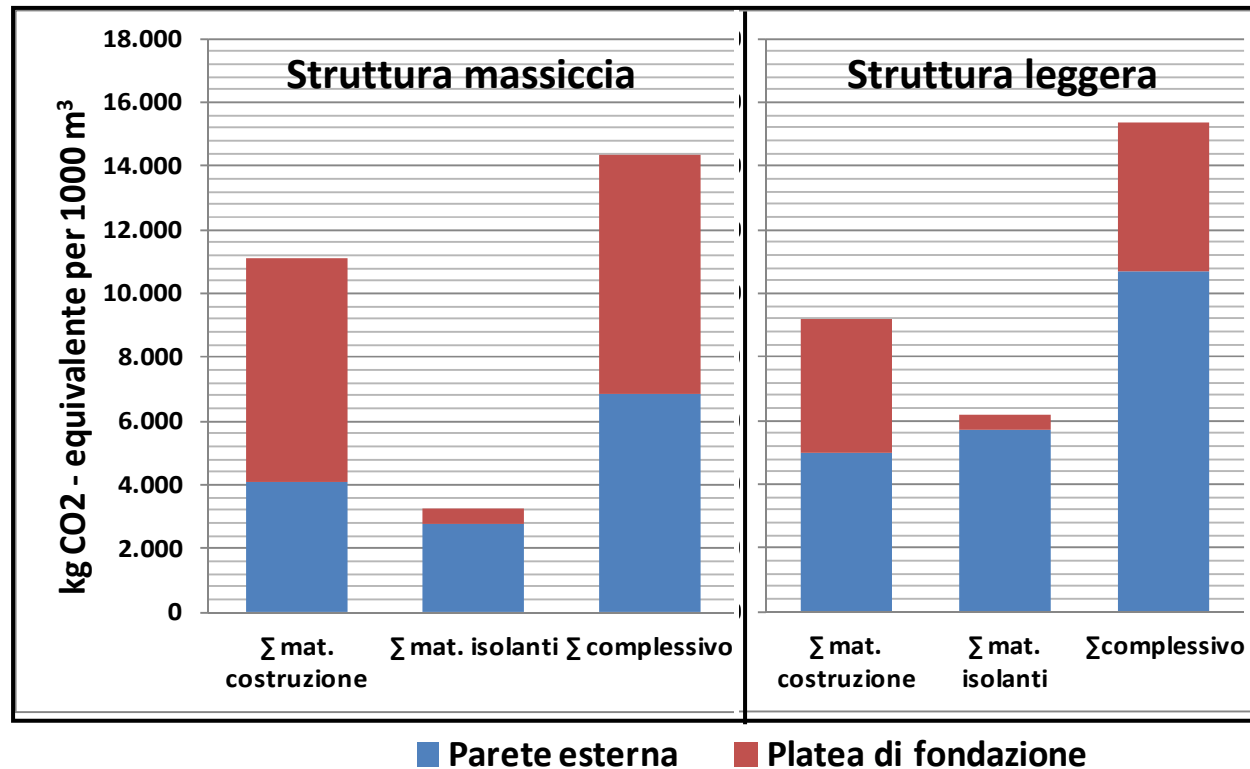


Fig. 38: Risultati (cumulati) della categoria di effetti „Cambiamento del clima“ di entrambe le tipologie costruttive

Nella categoria di impatto ambientale „Cambiamento del clima (effetto serra)“ la tipologia costruttiva leggera risulta leggermente peggiore rispetto alla tipologia costruttiva massiccia. Ciò può avere diversi motivi.

La categoria di impatto ambientale „Cambiamento del clima“ dipende dai gas nocivi emessi nella produzione dei materiali edili. Questi cosiddetti „gas serra“ sono emessi principalmente nella produzione dell'energia primaria fossile necessaria nei processi di produzione dei materiali edili. Nella maggior parte dei Paesi europei la produzione dell'energia primaria attualmente avviene ancora, nella maggior parte dei casi, partendo da fonti di energia fossili. Perciò il consumo di energia nella produzione dei materiali edili rappresenta uno dei fattori predominanti per il potenziale di impatto della categoria cambiamento del clima (effetto serra).

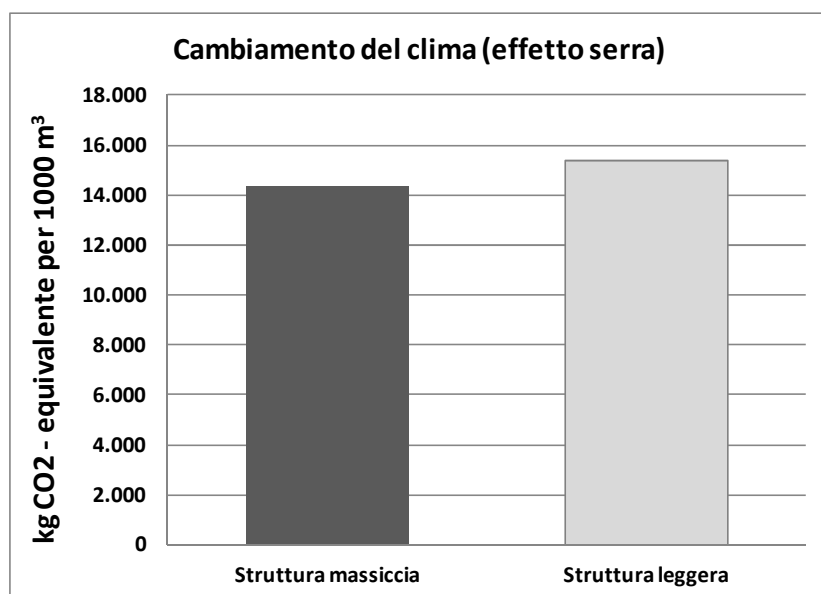


Fig. 39: Risultati netti per la categoria „cambiamento del clima“ per entrambe le tipologie costruttive

Nelle pareti esterne di entrambe le tipologie costruttive vengono impiegati prodotti edili diversi che comportano impatti di sistema di diversa entità.

Nella tipologia costruttiva massiccia i mattoni in quanto materiali portanti rappresentano la maggiore quota individuale degli impatti di sistema. Ciò dipende sia dalla loro elevata quota di presenza rispetto alla cubatura totale, sia dall'elevato consumo di energia necessario per la fabbricazione dei mattoni. I materiali termoisolanti del sistema termoisolante a cappotto rappresentano complessivamente una quota paragonabile degli impatti di sistema nella parete esterna della tipologia costruttiva massiccia.

Nella tipologia costruttiva leggera sono impiegati (dato il tipo di struttura) un po' meno materiali da costruzione rispetto alla tipologia costruttiva massiccia. Gli impatti complessivi di sistema per le pareti esterne nella tipologia costruttiva leggera sono tuttavia ca. 1,5 volte maggiori rispetto agli impatti di sistema della tipologia costruttiva massiccia. Poiché i quantitativi di materiali da costruzione e termoisolanti per le pareti esterne in entrambe le tipologie costruttive sono circa gli stessi, ciò deve dipendere dai materiali impiegati. I materiali termoisolanti nelle pareti esterne della tipologia costruttiva leggera richiedono per la loro produzione, in confronto, delle quantità di energia relativamente elevate. Ciò risulta particolarmente evidente nel caso del materiale isolante lana di roccia. La produzione della lana di roccia comporta infatti un fabbisogno di energia primaria (fossile) per 1 m³ di materiale ca. 1,4 volte maggiore rispetto al materiale edile mattone.

Nella platea di fondazione di entrambe le tipologie costruttive vengono impiegati gli stessi materiali edili con uguali impatti di sistema. Le differenze negli impatti di sistema devono perciò dipendere dalle diverse quantità di materiali da costruzione impiegati. Come già descritto nel capitolo 3.1, relativamente all'unità funzionale di 1000 m³ di cubatura sono state assunte per le diverse tipologie costruttive diverse quantità di materiali da costruzione. Le differenze degli impatti di sistema per le platee di fondazione coincidono più o meno con le differenze di quantità impiegate nelle due tipologie costruttive.

Se si considerano gli impatti di sistema complessivi di tutti gli elementi costruttivi di entrambe le tipologie costruttive, emerge che gli impatti di sistema della platea di fondazione per la tipologia costruttiva massiccia sono notevolmente maggiori rispetto a quelli nel caso della tipologia costruttiva leggera (vedi Fig. 38). Nella tipologia costruttiva leggera predominano invece gli impatti di sistema delle pareti esterne. Come già precedentemente descritto, ciò dipende dalla diversa entità degli impatti di sistema di tutti i materiali da costruzione e termoisolanti delle due tipologie costruttive.

Nella tipologia costruttiva massiccia i materiali da costruzione rappresentano in totale il 75% ed i materiali termoisolanti il 25% di tutti gli impatti di sistema. Nella tipologia costruttiva leggera il rapporto è però diverso. Qui i materiali da costruzione e termoisolanti rappresentano in totale ca. il 50% ciascuno.

Potenziale acidificazione

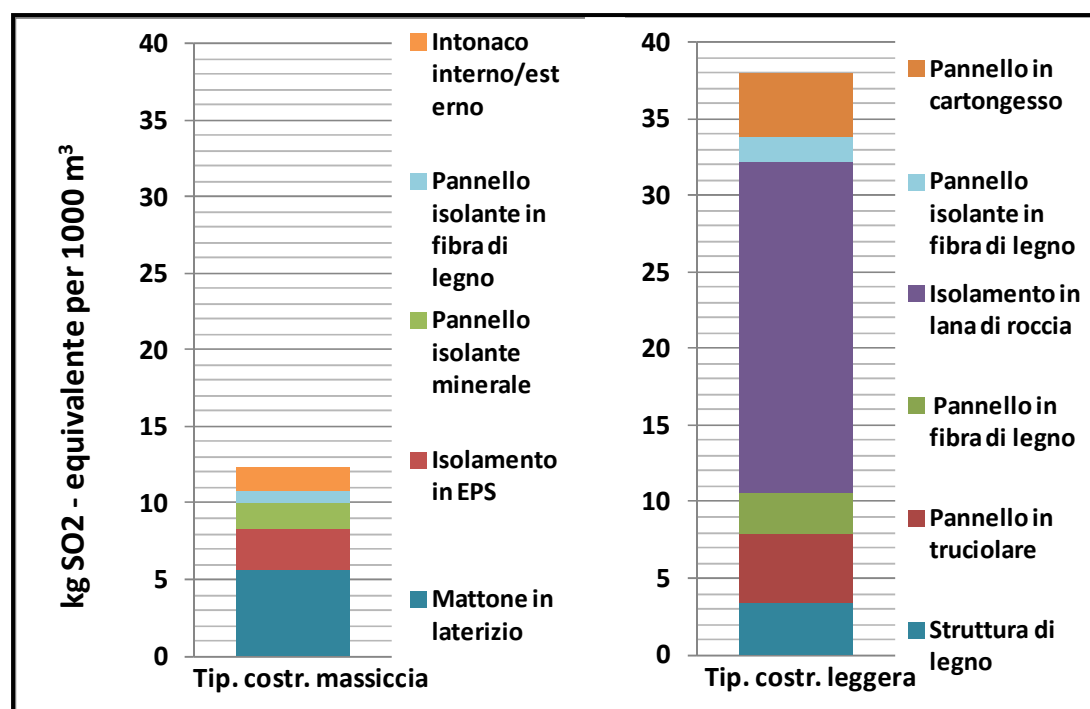


Fig. 40: Risultati della categoria "potenziale di acidificazione" per le pareti esterne di entrambe le tipologie costruttive

Nella tipologia costruttiva massiccia i materiali da costruzione mattoni rappresentano, con ca. il 50%, le quote maggiori degli impatti di sistema per le pareti esterne, mentre i materiali termoisolanti del sistema termoisolante a cappotto rappresentano in totale circa il 40 %. I maggiori impatti di sistema nella tipologia costruttiva leggera sono relativi alla produzione, ad alto consumo di energia, del materiale isolante „lana di roccia“ con ca. il 55 % degli impatti complessivi di tutti i

materiali da costruzione delle pareti esterne. Se si considerano solamente tutti i materiali termoisolanti, la lana di roccia rappresenta quasi la totalità (ca. 95 %) degli impatti di sistema.

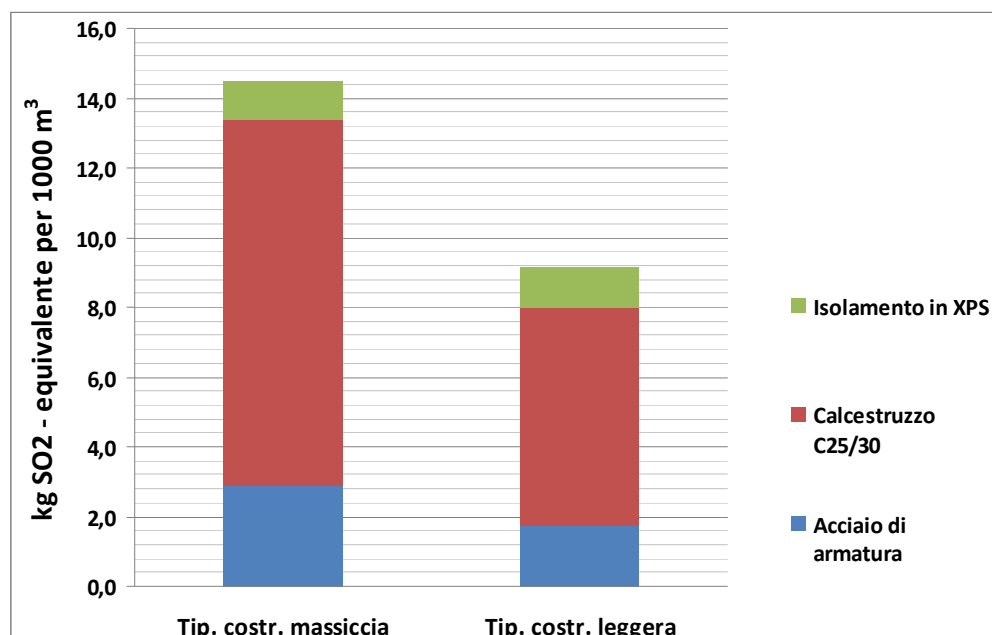


Fig. 41: Risultati della categoria "potenziale di acidificazione" per le platee di fondo di entrambe le tipologie costruttive

In entrambe le tipologie costruttive il materiale edile calcestruzzo rappresenta i maggiori impatti di sistema relativamente alla realizzazione della platea di fondazione con ca. il 70 %. I rimanenti materiali da costruzione rappresentano quote molto minori, e precisamente: acciaio di armatura (ca. 20 %) e isolamento in XPS (ca. 10 %).

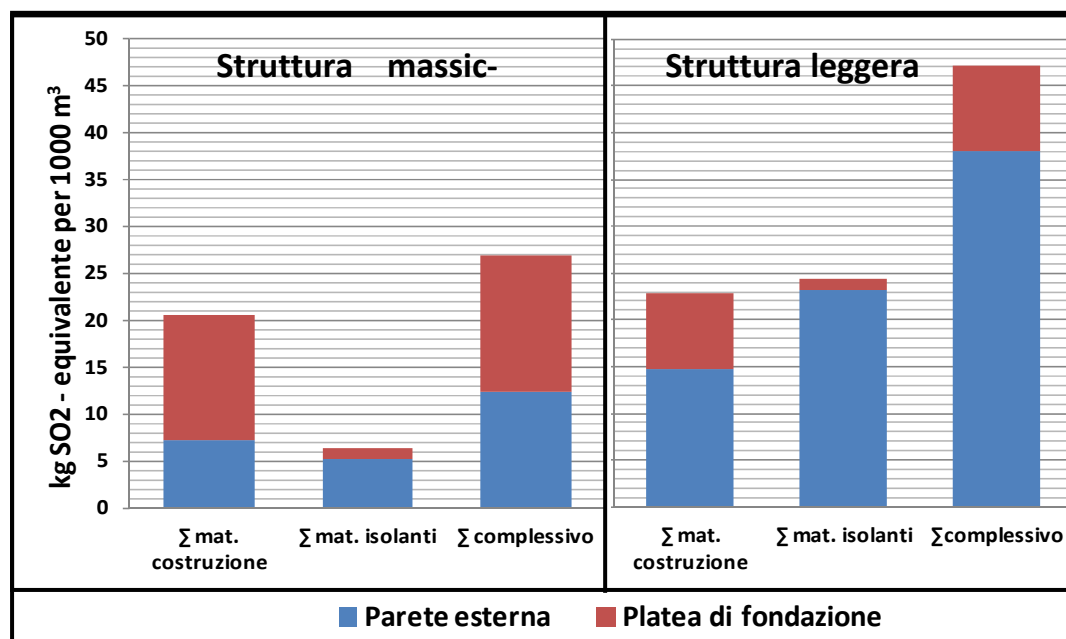


Fig. 42: Risultati cumulati per la categoria "potenziale di acidificazione" per entrambe le tipologie costruttive

Nella categoria di impatto ambientale „Potenziale acidificazione“ la tipologia costruttiva leggera risulta notevolmente peggiore rispetto alla tipologia costruttiva massiccia.

Analogamente alla categoria di impatto ambientale cambiamento del clima (effetto serra) i motivi per i diversi impatti di sistema si trovano in settori simili. L'entità delle differenze degli impatti di sistema tra la tipologia costruttiva massiccia e leggera è tuttavia in parte ancora più accentuata che nella categoria cambiamento del clima.

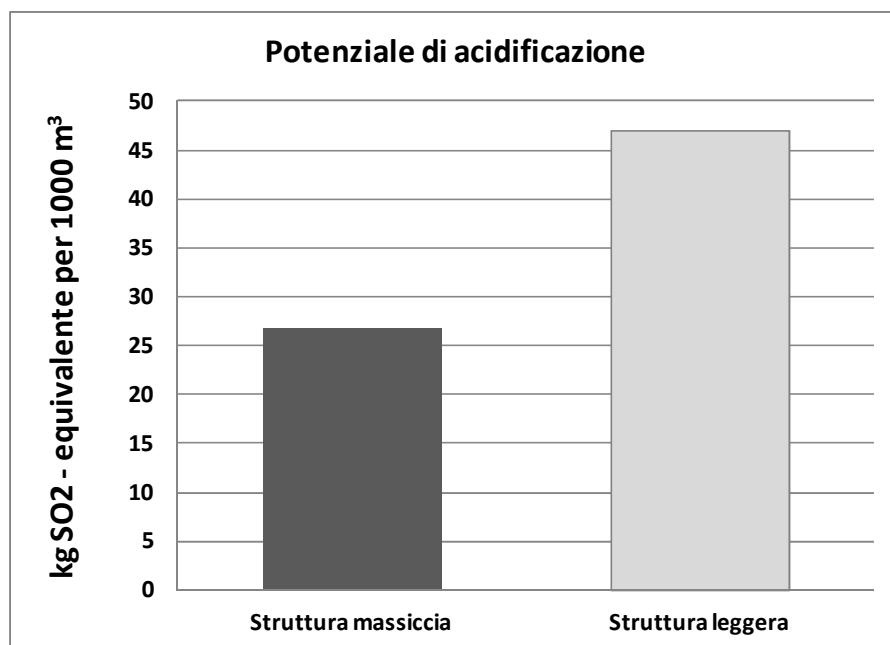


Fig. 43: Risultati netti per la categoria “potenziale di acidificazione” per entrambe le tipologie costruttive

Nelle pareti esterne della tipologia costruttiva massiccia i mattoni in quanto materiali portanti rappresentano la maggiore quota individuale degli impatti di sistema. Come anche per la categoria di impatto ambientale cambiamento del clima i materiali termoisolanti impiegati nel sistema termoisolante a cappotto rappresentano complessivamente una quota confrontabile degli impatti di sistema nelle pareti esterne della tipologia costruttiva massiccia.

Gli impatti complessivi di sistema per le pareti esterne nella tipologia costruttiva leggera sono ca. 4,5 volte maggiori rispetto agli impatti di sistema della tipologia costruttiva massiccia. Gli impatti di sistema per i materiali termoisolanti impiegati nella tipologia costruttiva leggera rappresentano, con oltre il 50 %, una quota significativa di tutti gli impatti di sistema delle pareti esterne.

Nell'esame degli impatti di sistema relativi al potenziale di acidificazione si può partire dagli stessi presupposti (tipologia e quantità) che nel caso della categoria di impatto ambientale cambiamento del clima. Perciò si deve assumere che la produzione dei materiali termoisolanti in generale e della lana di roccia in particolare abbiano per il potenziale di acidificazione degli effetti ancora maggiori sugli impatti di sistema che per il cambiamento del clima.

Il cattivo risultato della tipologia costruttiva leggera per le pareti esterne è presumibilmente dovuto alla modalità di produzione dell'energia di processo. Nella produzione della lana di roccia, a differenza che per gli altri materiali isolanti, l'energia di processo è prodotta in gran parte da carbone fossile, la cui combustione comporta emissioni acide. Analogamente, nella produzione

di materiali lignei per la produzione dell'energia di processo viene spesso bruciato legno, che comporta pure emissioni acide maggiori rispetto alla combustione di metano. I materiali lignei a loro volta sono soprattutto impiegati come materiali da costruzione nella tipologia costruttiva leggera.

Come nel caso degli impatti di sistema del cambiamento del clima per la platea di fondazione le differenze degli impatti di sistema dipendono dalle differenti quantità di materiali da costruzione. I rapporti degli impatti di sistema tra tipologia costruttiva massiccia e leggera sono nel caso della platea di fondazione quasi analoghi a quelli relativi al cambiamento del clima.

Da una verifica dei risultati cumulati per la categoria di impatto ambientale potenziale di acidificazione emerge un quadro analogo a quello relativo al cambiamento del clima. Nella tipologia costruttiva massiccia gli impatti di sistema della platea di fondazione e delle pareti esterne sono quasi uguali. Tuttavia i materiali da costruzione predominano sul totale degli impatti di sistema. Nella tipologia costruttiva leggera invece le pareti esterne sono la causa principale per gli impatti di sistema complessivi. Gli impatti di sistema di tutti i materiali termoisolanti e di tutti i materiali da costruzione sono qui quasi uguali.

Poichè in entrambe le categorie di impatto ambientale i materiali termoisolanti (e soprattutto la lana di roccia) nella tipologia costruttiva leggera rappresentano una quota così elevata degli impatti di sistema complessivi, vale la pena di svolgere un'analisi più approfondita a tale riguardo.

Di seguito si è pertanto esaminata, attraverso un'analisi di sensibilità nella tipologia costruttiva leggera, l'entità degli effetti del materiale termoisolante lana di roccia sugli impatti di sistema complessivi.

Analisi di sensibilità „materiale isolante lana di roccia“

Nell'analisi di sensibilità si assume che il materiale isolante lana di roccia sia sostituito da polistirolo espanso (EPS). L'EPS ha, rispetto alla lana di roccia, una densità molto minore. Per semplificare il confronto si è ipotizzato l'impiego della stessa quantità di materiale isolante per l'EPS e per la lana di roccia. Per l'EPS si è fatto riferimento agli stessi dati impiegati nella tipologia costruttiva massiccia.

Dal confronto dei risultati delle pareti esterne della tipologia costruttiva leggera emerge una notevole diminuzione degli impatti di sistema. Gli impatti di sistema del materiale termoisolante nei tamponamenti della tipologia costruttiva leggera con intelaiature in legno variano per effetto della sostituzione della lana di roccia con EPS per entrambe le categorie di impatto ambientale.

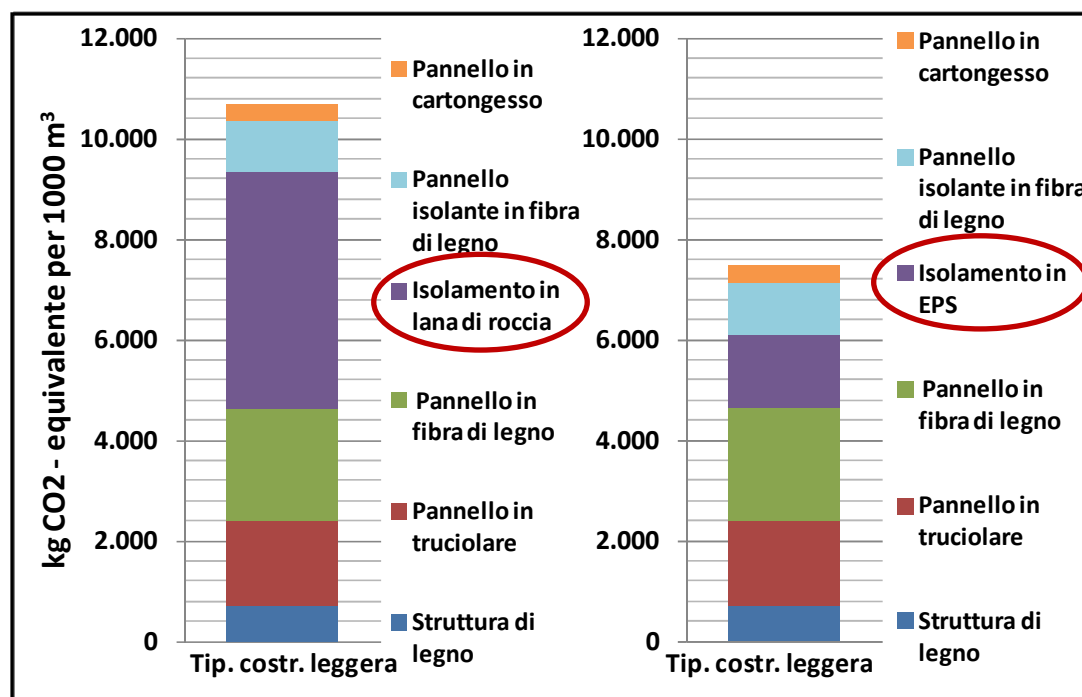


Fig. 44: Risultati per la categoria cambiamento del clima della parete esterna con diversi tipi di materiale isolante

Il risultato complessivo per la valutazione delle tipologie costruttive nella categoria di impatto ambientale cambiamento del clima varia. Gli impatti di sistema complessivi per tutti gli elementi costruttivi della tipologia costruttiva leggera si riducono infatti di ca. il 20%. Perciò nell'analisi di sensibilità la tipologia costruttiva leggera, a differenza che nella valutazione originale, presenta impatti di sistema minori rispetto alla tipologia costruttiva massiccia.

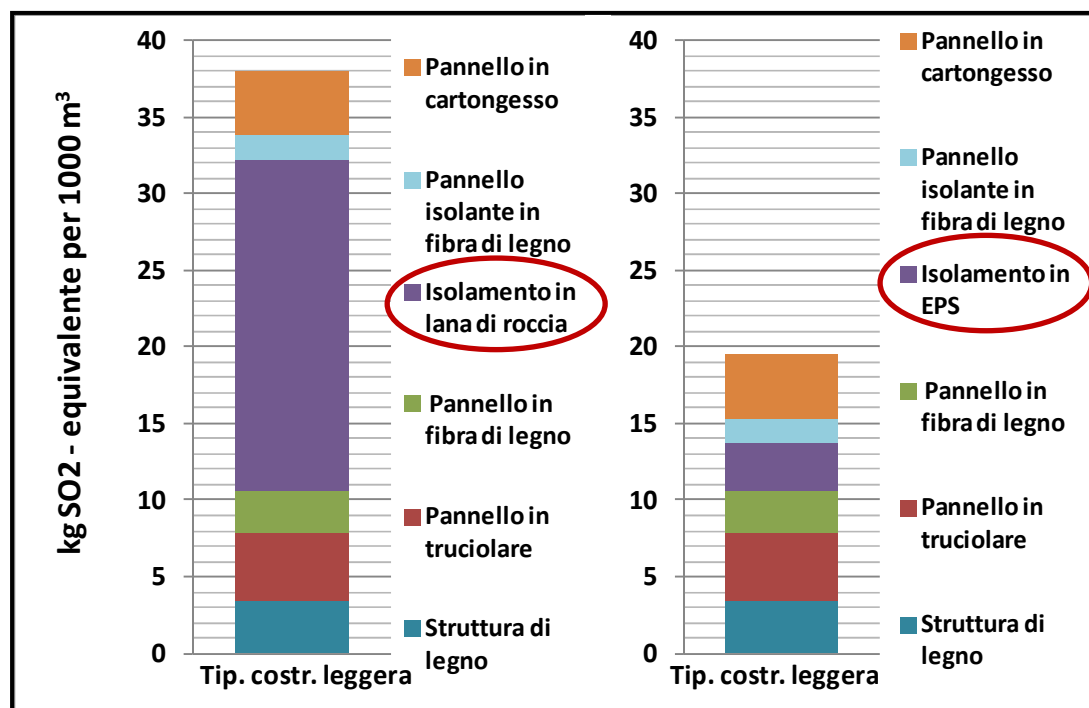


Fig. 45: Risultati per potenziale di acidificazione della parete esterna con diversi tipi di materiale isolante

Come per la categoria di impatto ambientale cambiamento del clima anche per il potenziale di acidificazione gli impatti di sistema si riducono notevolmente con la sostituzione del tipo di materiale isolante nelle pareti esterne. Gli impatti di sistema complessivi per tutti gli elementi costruttivi della tipologia costruttiva leggera si riducono di ca. il 40%.

Differentemente rispetto alla categoria cambiamento del clima, nell'analisi di sensibilità non varia però l'intero risultato per la valutazione nella categoria di impatto ambientale potenziale di acidificazione. La tipologia costruttiva leggera presenta – come nella valutazione originaria – nella categoria di impatto ambientale potenziale di acidificazione degli impatti di sistema (leggermente) superiori rispetto alla tipologia costruttiva massiccia.

Riassunto

L'„impatto ecologico a monte“ per le due tipologie costruttive (con stessi standard energetici e stesse dimensioni di edificio) è variamente accentuato.

I risultati calcolati e valutati delle due tipologie costruttive per le categorie di impatto ambientale dipendono tra l'altro da due fattori fondamentali, e precisamente:

- in primo luogo dai materiali da costruzione e termoisolanti ipotizzati per le due tipologie costruttive e
- in secondo luogo dalle quantità risultanti dalle diverse tipologie costruttive.

La selezione dei materiali da costruzione e isolanti calcolati e valutati è stata effettuata sulla base delle ricerche dei partner di progetto riguardo allo status quo delle CaseClima a Bolzano. Tale selezione rappresenta solo una delle tante possibilità di composizione dei materiali, ma sicuramente, in base ai dati disponibili, fornisce un quadro molto vicino alla realtà bolzanina. Ciò è importante soprattutto riguardo all'analisi di sensibilità effettuata per il materiale isolante lana di roccia.

La tipologia costruttiva leggera presenta in entrambe le categorie di impatto ambientale per lo meno impatti di sistema uguali o superiori rispetto alla tipologia costruttiva massiccia e presenta perciò complessivamente un risultato peggiore.

Nella categoria di impatto ambientale potenziale di acidificazione gli impatti di sistema della tipologia costruttiva leggera sono però notevolmente superiori rispetto alla tipologia costruttiva massiccia (vedi Fig. 43). Ciò è meno accentuato per la categoria di impatto ambientale cambiamento del clima (effetto serra).

Potrebbero essere considerati anche altri scenari con diverse composizioni di materiali da cui deriverebbero risultati diversi per gli impatti ecologici a monte relativamente alle due tipologie costruttive. Per escludere eventuali incongruenze nella rilevazione dei dati, al fine di comparare le composizioni di materiali, sono stati fatti dei sondaggi presso le associazioni e i produttori. In tali sondaggi è stata confermata tra l'altro l'alta quota di mercato dei materiali termoisolanti in fibra minerale (lana di roccia / di vetro). Inoltre è stata effettuata un'analisi di sensibilità.

L'interpretazione dell'analisi di sensibilità (EPS invece di lana di roccia) porta complessivamente ad un risultato diverso. Gli impatti di sistema nella categoria di impatto ambientale „Cambiamento del clima“ sono qui più elevati per la tipologia costruttiva massiccia che per la tipologia costruttiva leggera. Gli impatti di sistema della categoria di impatto ambientale „Potenziale di acidificazione“ sono invece più o meno uguali.

4 Conclusioni

La demolizione selettiva di edifici ha un'importanza determinante. Solo una separazione dei flussi di materiali già in cantiere, e qui soprattutto una separazione tra materiali da costruzione minerali e non minerali, è imprescindibile ai fini del successivo recupero. I materiali da costruzione compositi non consentono ciò, e per tale motivo dovranno non essere possibilmente impiegati anche in futuro.

Ai fini del riutilizzo quella che presenta meno problemi è la tipologia costruttiva convenzionale, integrata con un sistema termoisolante a cappotto. Quest'ultimo si può asportare separatamente in fase di demolizione dell'edificio, in modo che anche successivamente nell'impianto di trattamento dei materiali di demolizione sia possibile disporre di un flusso di materiali abbastanza puliti. Ciononostante è necessario prevedere in generale l'impiego di separatori di materiali leggeri.

Altrettanto poco problematica potrebbe essere anche la demolizione di un edificio con tipologia costruttiva leggera sempreché le pareti, incluso l'isolamento termico, siano realizzate possibilmente non con combinazioni di materiali, ma soprattutto in legno e materiali lignei.

Se per l'isolamento termico si dovessero impiegare materiali diversi, questi vanno asportati dai tamponamenti, prima della demolizione vera e propria dell'edificio; inoltre, dati gli elevati impatti ambientali connessi alla produzione della lana di roccia, si dovrebbe ricorrere possibilmente all'impiego di materiali termoisolanti non minerali (ad es. EPS).

Se si rispettano queste condizioni generali, la tipologia costruttiva leggera può essere considerata vantaggiosa sotto il profilo ecologico complessivo.

Se per i materiali isolanti minerali è possibile prevedere un riciclaggio con conseguente risparmio di risorse, questo non è possibile per i materiali impiegati nella tipologia costruttiva leggera ed anche per il legno. Un riutilizzo come materia prima non è ancora, almeno allo stato attuale, diverso, dato che si tratta di un sistema di recupero aperto. Tuttavia, in considerazione della lunga durata di vita di un edificio, ciò è molto meno gravoso dell'utilizzo energetico diretto del legno.

Una condizione generale importante ai fini del confronto ecologico tra le due tipologie costruttive è il fatto di aver considerato la stessa durata di vita per entrambe, oltre ai periodi di garanzia e di ammortamento considerati normalmente. In che misura ciò riguardi le case prefabbricate, solo il futuro lo potrà dimostrare.

II Tecnologia solare

La problematica dello smaltimento

5 Situazione della tecnologia solare

5.1 Situazione di partenza

In Alto Adige la quantità di energia irradiata dal sole varia, a seconda del luogo, tra 1.100 e 1.900 kWh per metro quadrato all'anno; in raffronto, l'irraggiamento solare in Germania varia mediamente tra 900 e 1.200 kWh. La figura seguente illustra i valori di irraggiamento solare in Alto Adige.

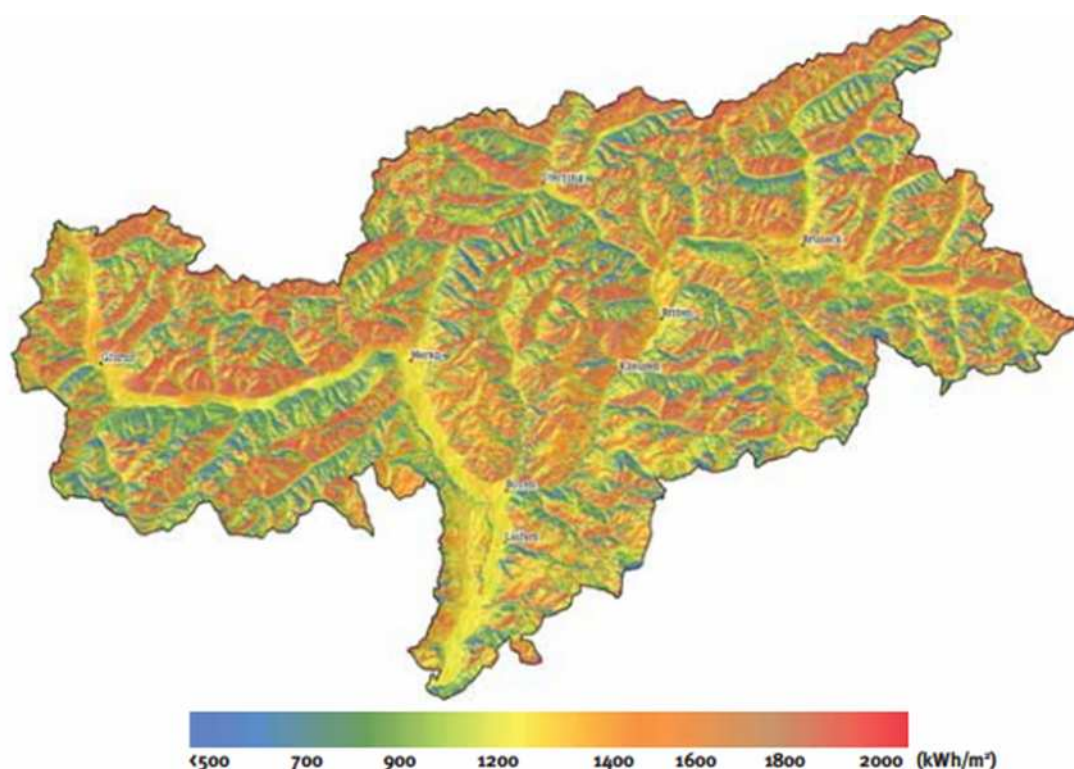


Fig. 46: Irraggiamento solare in Alto Adige (fonte: Hydrologis Bozen – www.hydrologis.eu)

In questo contesto di potenziale solare in Alto Adige già dal 1990 la Provincia ha cominciato ad erogare contributi in conto capitale per l'acquisto di moduli fotovoltaici (PV). Successivamente, nel 2005, tali contributi sono stati limitati al finanziamento di soluzioni a isola senza allacciamento alla rete elettrica. I contributi sono stati gestiti ed erogati dall'Ufficio risparmio energetico dell'Agenzia provinciale per l'ambiente.

A partire dal 2005 da parte dello Stato è previsto un rimborso per l'immissione di energia elettrica prodotta da pannelli PV nella rete elettrica pubblica. Tale rimborso è garantito per un periodo di 20 anni. Attualmente l'entità del rimborso si riduce ogni sei mesi.

Gli impianti solari termici, essendo basati su una tecnologia più semplice rispetto a quelli fotovoltaici, hanno trovato già da molto tempo una maggiore diffusione in Alto Adige. I raggi solari che colpiscono le superfici di collettore cedono il loro calore ad un liquido termico il quale, trami-

te una pompa di circolazione, viene inviato nel boiler dell'impianto di riscaldamento dell'edificio. La trasmissione di calore al boiler avviene mediante uno scambiatore termico. L'impianto solare può essere utilizzato, oltre che per produrre acqua calda, anche come supporto all'impianto di riscaldamento.

5.2 Elettricità da energia solare

5.2.1 Sviluppo della potenza installata

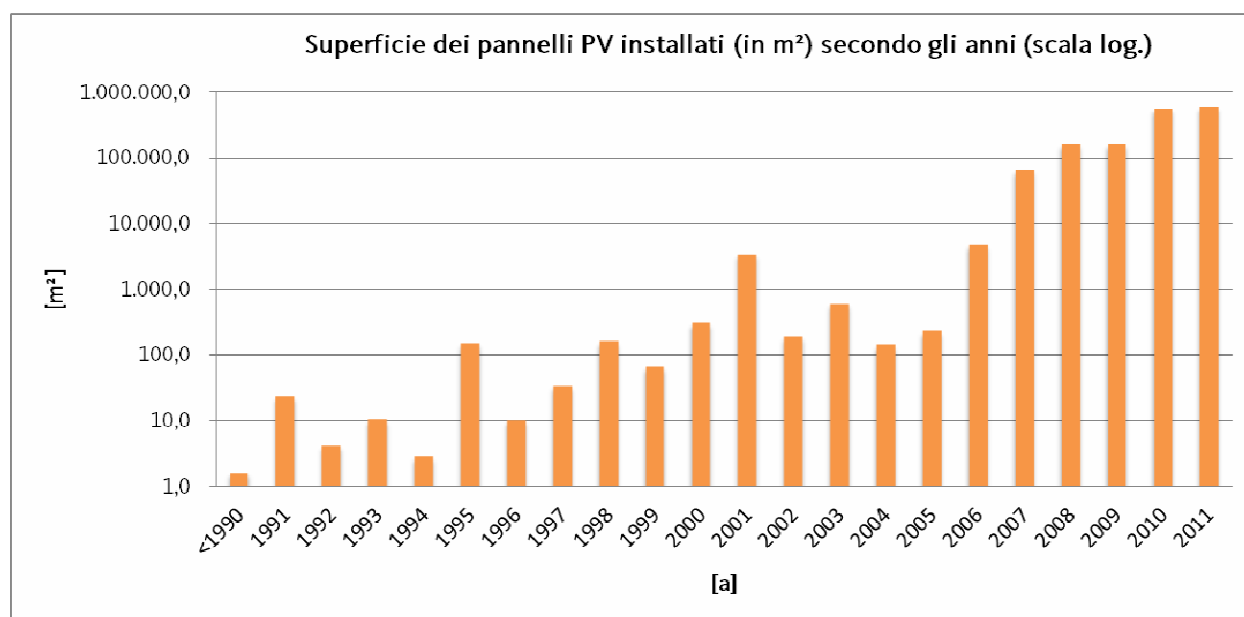
Con il termine di fotovoltaica si definisce la trasformazione diretta di energia luminosa in energia elettrica. La trasformazione avviene in celle solari, gli elementi basilari di un impianto fotovoltaico (PV). Il processo di trasformazione è basato sull'effetto fotoelettrico. Con effetto fotoelettrico si intende la liberazione di cariche positive e negative in un corpo solido per effetto dell'irradiazione luminosa. Le celle solari consistono in materiali semiconduttori, ossia materiali in grado di diventare conduttori elettrici attraverso l'apporto di luce o calore.

Per la realizzazione di una cella solare il materiale semiconduttore viene per così dire "drogato". Con questo termine si intende l'apporto di elementi chimici definiti, per mezzo dei quali nel materiale semiconduttore si può ottenere un eccesso di cariche positive (strato semiconduttore drogato positivamente) oppure negative (strato semiconduttore drogato negativamente).

Se si creano due strati semiconduttori diversamente drogati, nello strato limite tra i due si forma una cosiddetta giunzione p-n. In corrispondenza di questa giunzione si stabilisce un campo elettrico interno, che comporta una separazione delle cariche liberate dall'incidenza della luce. Attraverso contatti metallici si può prelevare una tensione elettrica. Se si chiude il circuito esterno, ossia se si collega una utenza elettrica, si determina un flusso di corrente elettrica continua.

L'industria fotovoltaica ha avuto negli ultimi anni uno sviluppo enorme. Di fronte a soli 1.000 MW installati nel 2000, si è giunti nel 2008 a 16.000 MW e nel 2011 a 67.000 MW installati (Quaschnig 2012). In Alto Adige vi sono attualmente pannelli fotovoltaici per una potenza elettrica installata di circa 180.000 kW, ossia 180 MW. Complessivamente i moduli fotovoltaici coprono una superficie di circa 1,6 km² e forniscono una quantità di energia elettrica pari a ca. 170 Mio. kWh/anno.

La figura seguente illustra l'evoluzione dei moduli PV installati in Alto Adige in termini di superficie di collettori. La tabella illustra anche l'energia prodotta in kWh/anno, in base all'ipotesi che un modulo da 1 kW di potenza installata produca 950 kWh di energia elettrica all'anno.

Fig. 47: Superficie dei pannelli PV installati (in m²) secondo gli anni (scala log.)

Tab 14: Evoluzione nel tempo di prestazioni e superficie dei moduli solari e dell'energia elettrica prodotta

Anno	Potenza [kW _p]	Superficie [m ²]	Energia [kWh/a]
<1990	0,2	1,6	190
1991	3	23	2.755
1992	0,6	4	570
1993	1,5	10	1.425
1994	0,4	2,7	380
1995	20	148	18.525
1996	1,5	10	1.398
1997	5	33	4.556
1998	20	157	19.159
1999	8	65	7.454
2000	36	301	33.783
2001	402	3.355	381.983
2002	21	187	19.701
2003	70	589	66.159
2004	18	138	17.214
2005	28	221	26.324
2006	525	4.724	498.669
2007	7.166	64.491	6.807.396
2008	17.655	158.893	16.772.050
2009	18.687	158.836	17.752.287
2010	65.145	553.730	61.887.463
2011	9.537	591.064	66.060.046
TOTALE	179.347	1.536.984	170.379.486

5.2.2 Tipi di modulo e loro importanza in Alto Adige

La composizione dei materiali dei moduli fotovoltaici non è cambiata in modo particolare negli ultimi anni. Dato il continuo e intenso aumento del mercato e la spinta alla riduzione del prezzo dei moduli, si può ipotizzare che in futuro si affermeranno sempre più le tecnologie in grado di consentire una produzione di massa con minimo consumo di materiali. In linea di principio si distingue tra moduli cristallini e moduli a film sottile.

Nei moduli PV cristallini come semiconduttori vengono impiegate celle al silicio. Nei moduli a film sottile invece come semiconduttori vengono impiegati silicio amorfo, tellururo di cadmio (CdTe) o diseleniuro di indio-rame (CIS). La differenza sostanziale tra le due tecnologie consiste nel fatto che nei moduli a film sottile l'unità minima generatrice di corrente elettrica non è una cella ma un film sottile di materiale semiconduttore applicato sulla superficie di un materiale di supporto (Sander, 2007).

In Alto Adige la tecnologia dei moduli a film sottile ha avuto un leggero balzo in avanti negli anni 2008 e 2009 (7-8% di quota di mercato), ma il trend non si è più confermato nel 2010 (4%). La quota di moduli a film sottile installati è quindi attestata attorno a ca. il 6,5% di tutti i moduli PV (corrispondente a ca. 11.120 kW), come risulta dalla figura seguente.

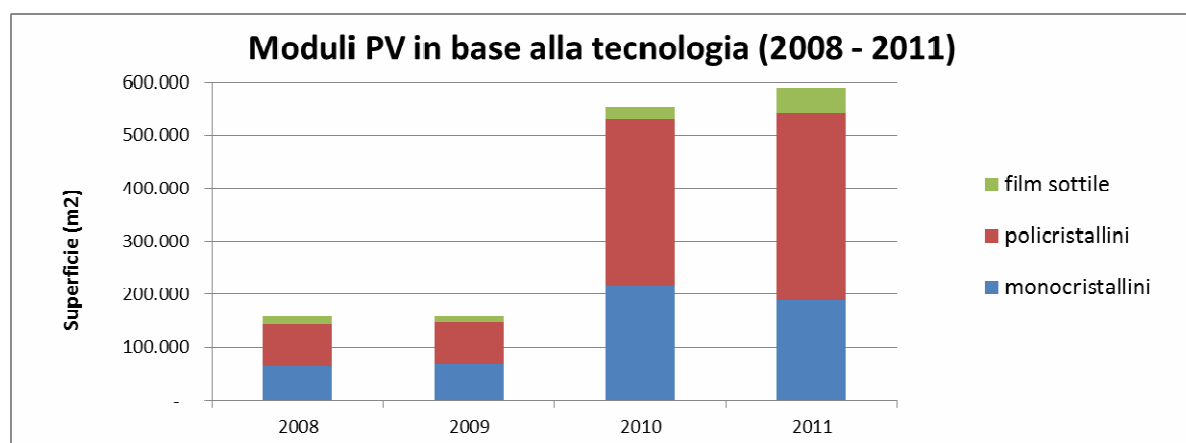


Fig. 48: Superficie dei pannelli PV installati in Alto Adige in base a tecnologia e anno

Dei 180 MW di moduli fotovoltaici complessivamente installati il 93,5% è costituito da celle al silicio cristallino (168.300 kW) e il 6,5% (11.700 kW) da moduli a film sottile. I moduli a film sottile installati in Alto Adige sono basati, secondo informazioni fornite da ditte locali di impianti fotovoltaici, per la maggior parte sulla tecnologia CdTe (vedi sotto) della ditta First Solar.

Celle solari al silicio cristallino

Le celle solari al silicio cristallino hanno attualmente in Alto Adige una quota di mercato superiore al 90% - a livello mondiale la quota in rapporto ai moduli a film sottile è leggermente minore. Nelle celle solari al silicio si distingue tra celle monocristalline e celle policristalline. Le celle al silicio monocristalline consistono in un cristallo continuo, mentre le policristalline consistono in più cristalli di minori dimensioni e con diverso orientamento. La produzione delle celle policristalline è più economica, ma il rendimento (13%) è leggermente minore rispetto alle celle monocristalline (15%) (Sander, 2007).

In Alto Adige le percentuali di celle policristalline e monocristalline sono pressoché uguali, anche se negli ultimi anni sono state installate più celle policristalline, cosicché attualmente il rapporto è di ca. il 60% a favore di queste ultime.

Celle a film sottile

Le celle a film sottile sono a base di silicio amorfo o di altri semiconduttori di collegamento. La struttura schematica delle celle a film sottile si differenzia da tipo a tipo solo per alcuni particolari. In generale sono basate su due elettrodi (per lo più indio, ossido di zinco e alluminio), uno strato conduttore cavo e uno strato di blocco (tampone), il materiale assorbente ovvero il semiconduttore di collegamento e un materiale di supporto (per lo più vetro).

Poiché nella produzione di moduli a film sottile viene consumata notevolmente meno energia, essi risultano molto più efficienti sotto il profilo dei costi. Un ulteriore vantaggio consiste nell'alta flessibilità delle celle, che fa sì che esse possano essere spesso impiegate anche come elemento architettonico, di protezione solare, ecc. È quindi possibile che in futuro le celle a film sottile, nonostante il loro rendimento inferiore, ma in considerazione dei vantaggi anche sotto il profilo dei costi, acquisiscano una quota di mercato maggiore rispetto a quella attuale.

Celle a film sottile in silicio amorfo (a-Si)

Il silicio amorfo consiste in una fase mista di idrogeno e silicio ed è di produzione molto economica. A dire il vero le celle al silicio amorfo presentano anche un livello di rendimento molto basso (al massimo 9%) e una durata ridotta rispetto alle celle al silicio cristallino. Ma il vantaggio delle celle a film sottile in silicio amorfo consiste nel fatto che sono fatte in un materiale ecologicamente innocuo. Rispetto al silicio cristallino il silicio amorfo ha una struttura relativamente disordinata, il che spiega i minori oneri di produzione.

Celle a film sottile con altri semiconduttori di collegamento

Come semiconduttori di collegamento possono essere impiegati diseleniuro di indio-rame (CIS), diseleniuro di indio-rame-gallio (CIGS) o telliuro di cadmio (CdTe). Come materiale di supporto sul quale viene applicato il film sottile viene impiegato vetro.

Il funzionamento delle celle CIS (ovvero delle celle CIGS, dove la lettera „G“ sta per gallio), non è a dire il vero completamente chiaro, ciononostante esse sono molto apprezzate, in quanto raggiungono in laboratorio un rendimento del 20% (in applicazioni pratiche ca. 10 – 12 %).

Le celle CdTe vengono prodotte principalmente dalla ditta statunitense First Solar con costi di produzione relativamente bassi per il mondo occidentale. Il grande svantaggio di questo tipo di celle consiste nell'impiego del cadmio, una sostanza molto nociva per l'ambiente. Il livello di rendimento è di ca. il 9 %.

5.3 Calore da energia solare

5.3.1 Sviluppo della potenza installata

In base ai dati forniti dall'Ufficio risparmio energetico della Provincia fino alla fine del 2011 sono stati realizzati in totale 18.716 impianti termici solari in Alto Adige, per i quali è stato richiesto un contributo. La politica di finanziamento per questo tipo di impianti è iniziata già nel 1983, e fino al 1990 erano stati realizzati quasi 850 impianti con una superficie totale di collettori di circa 8.000 m². L'Ufficio risparmio energetico ora non considera più questi impianti nel calcolo del risparmio energetico e ritiene che alcuni di tali impianti non siano più funzionanti. È inoltre possibile che alcuni di questi impianti siano già stati demoliti o sostituiti.

Tab 15: Status quo degli impianti solari termici in provincia di Bolzano

Numero di impianti	Superficie collettori	Risparmio energia
18.716	206.860 m ²	119.400MWh/a

Se fino alla metà degli anni 90 erano stati realizzati circa 6.000 m² di collettori all'anno, successivamente la situazione è cambiata radicalmente. Negli anni 1997, 1998 e 1999 si sono verificati dei forti incrementi con circa 15.000 m² di nuove superfici di collettori all'anno, con un picco nel 2000 di 23.000 m². In seguito questi tassi di incremento di superficie si sono ridotti a circa 10.000 m² all'anno fino a raggiungere l'attuale valore di circa 4.000 m²/anno. Gli anni 2007 e 2008 sono stati nuovamente eccezionali con circa 15.000 m² e rispettivamente 16.000 m² di nuove superfici di collettori.

Queste oscillazioni si possono spiegare con la diversa situazione contributiva provinciale. Nel 2010 sono infatti stati rivisti i criteri e i tassi di contributo per il risparmio energetico (Ufficio risparmio energetico della Provincia di Bolzano 2010), cosicché per i costruttori si è presentata la possibilità di anticipare gli investimenti.

5.3.2 Tipi di collettore e loro importanza in Alto Adige

Per la produzione di calore con piccoli impianti tipici nell'edilizia si distinguono sostanzialmente due tipi di collettori, e precisamente collettori piani e collettori a tubi sottovuoto.

Collettori piani

Nei collettori piani il sole riscalda direttamente una superficie termoassorbente, attraversata da tubi in cui scorre un fluido termico. Oggi come materiale termoassorbente si impiega rame o alluminio. Come liquido termico si impiega acqua mescolata con il 40% di propilenglicolo, onde garantire una sufficiente resistenza al gelo e temperature di ebollizione di 150°C e oltre. Secondo l'analisi di mercato dell'IZT (IZT 2009) viene impiegato talvolta anche il più tossico etilenglicolo.

Collettori a tubi sottovuoto

I collettori a tubi sottovuoto consistono in due tubi di vetro concentrici immersi nel vuoto cosicché la trasmissione dell'energia solare sul materiale assorbente può avvenire con perdite di calore minime. Di regola come liquido termico viene impiegata anche in questo caso una miscela di acqua-glicolo, ma vi sono anche cosiddetti „sistemi aperti“, in cui viene riscaldata direttamente acqua. Questi collettori vengono provvisti da alcune ditte di riflettori in grado di concentrare la radiazione solare sul tubo. A tale scopo, però, i riflettori necessitano di una regolare pulizia.

I collettori a tubi sottovuoto sono più efficienti ma più costosi all'acquisto. Per tale motivo essi hanno in Europa una quota di mercato di solo circa il 10%. Questo potrebbe essere anche il caso della Provincia di Bolzano, ma attualmente non sono disponibili dati statistici a riguardo.

Nell'ambito di questo progetto sono state interpellate circa 20 ditte installatrici o venditrici di collettori per verificare le quote di vendita nella loro azienda. I collettori a tubi sottovuoto raggiungono solo in poche aziende quote di mercato del 20% e oltre, mentre in genere la quota è del 10% o molto inferiore. Alcune aziende vendono esclusivamente collettori piani. Anche se non è stato possibile effettuare una valutazione ponderata in base ai dati di vendita riferiti, tenuto conto dei valori vigenti in Europa, una quota media dell'11% appare plausibile.

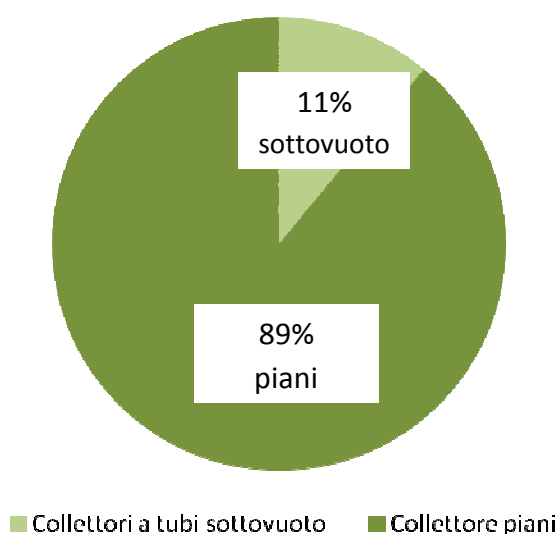


Fig. 49: Tipi di collettori in Alto Adige

5.4 Previsioni di evoluzione nel tempo dei quantitativi di rifiuti

La durata di vita dei moduli fotovoltaici è stimata nell'ordine di ca. 25 anni, assumendo che il rendimento diminuisca e che alla fine della vita venga prodotto l'80% dell'energia iniziale. La quantità di rifiuti di moduli fotovoltaici dipende dalla quantità di moduli installati. Nell'ipotesi di una durata media di vita di 25 anni risultano quindi i quantitativi di rifiuti riportati nella figura seguente (in MW).

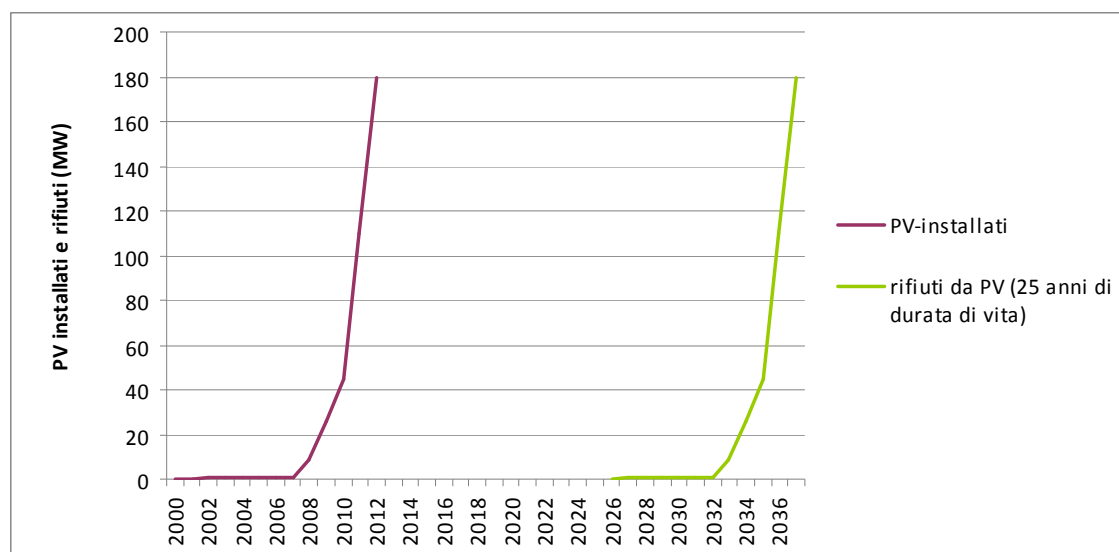


Fig. 50: Previsioni di evoluzione della quantità di rifiuti per i moduli fotovoltaici (in MW)

La figura mostra chiaramente che grossi quantitativi di rifiuti di moduli fotovoltaici dovranno essere smaltiti solo tra circa 20 anni – ma allora saranno moltissimi e tutti in una volta. Già oggi vengono demoliti i primi impianti che vengono smaltiti per mezzo del sistema di trattamento PV Cycle; ma si tratta sempre di piccolissime quantità, e lo stesso sarà per il futuro più prossimo.

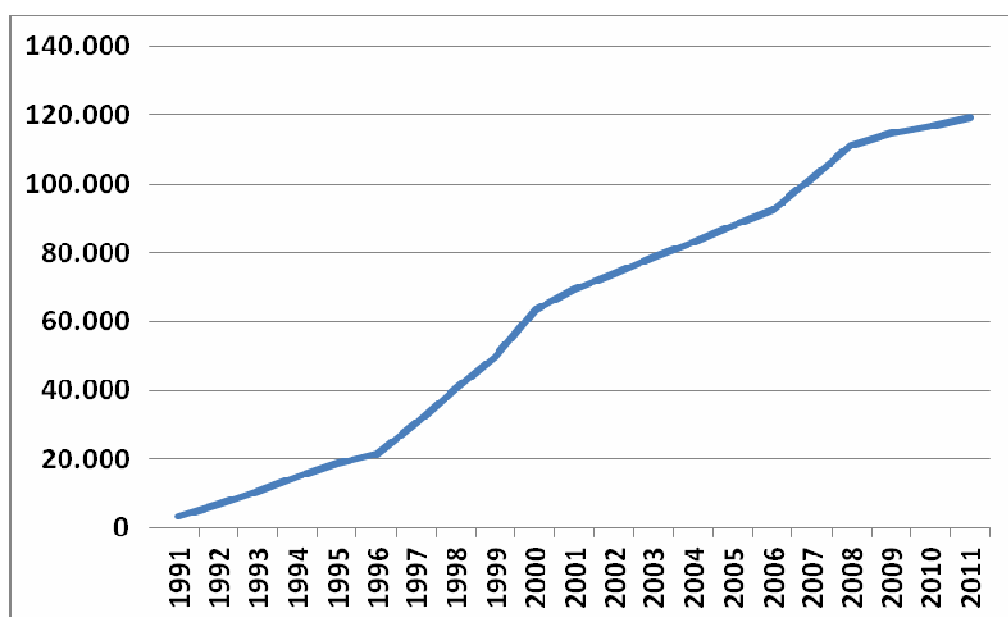


Fig. 51: MW installati in Alto Adige per impianti solari termici (cumulati)

Da quanto è possibile rilevare dallo sviluppo degli impianti solari termici installati negli ultimi anni, l'andamento è stato notevolmente più regolare rispetto agli impianti fotovoltaici e, assumendo anche in questo caso una durata di vita di 20 – 25 anni, dovrebbe comportare già nei prossimi anni quantitativi di rifiuti abbastanza rilevanti. Di conseguenza, è importante prevedere per tempo delle possibilità di smaltimento adeguate per questi impianti.

6 Possibilità di smaltimento degli impianti solari

6.1 Materiali impiegati nei moduli fotovoltaici

La composizione precisa dei tipi di moduli e di pannelli varia da produttore a produttore. Pertanto di seguito possono essere riportati valori medi o stime.

Celle solari al silicio cristallino

Le celle al silicio cristallino sono costituite dai seguenti componenti principali:

- Lamina di vetro di 3 - 4 mm di spessore (vetro bianco, per lo più temprato, particolarmente trasparente)
- EVA (etilenvinilacetato): foglio di materiale di unione su cui sono posate le celle solari
- Celle solari in silicio mono- o policristallino, collegate e cablate tra loro mediante striscio-line conduttrici
- Foglio posteriore „TEDLAR“ (film in fluoruro di polivinile, nome commerciale registrato della DuPont): foglio particolarmente resistente costituito da Tedlar e poliestere accoppiati
- Morsettiera: attacco elettrico in plastica e metalli, da cui è possibile prelevare e trasmettere la corrente elettrica prodotta
- Telaio (generalmente in alluminio)

Tab 16: Composizione delle celle di silicio cristallino (c-Si) (Fonte: Ökopol 2004; Hahne 2010)

Materiale	quota %	kg/kW _p
Vetro	74	77,3
Alluminio	10	10,7
Silicio	3	3,6
Foglio lato posteriore (TEDLAR*)	3,6	3,8
Polimero (EVA*)	6,5	6,8
Colla, resina	1,2	1,2
Zinco	0,12	
Piombo	<0,1	
Rame	0,6	
Argento	<0,01	
TOTALE		103,40

Tab 17: Stima dei quantitativi di rifiuti relativi a celle di silicio cristallino in Alto Adige (c-Si)

Composizione c-Si			Potenza installata	Quantitativi di rifiuti prodotti
Materiale	quota %	kg/kW _p	kW _p	kg rifiuti
Vetro	74	77,3	168.300	13.009.590
Alluminio	10	10,7	168.300	1.800.810
Silicio	3	3,6	168.300	605.880
Foglio post. (TEDLAR*)	3,6	3,8	168.300	639.540
Polimero (EVA*)	6,5	6,8	168.300	1.144.440
Colla, resina	1,2	1,2	168.300	201.960
Zinco	0,12	-	168.300	-
Piombo	<0,1	-	168.300	-
Rame	0,6	-	168.300	-
Argento	<0,01	-	168.300	-
TOTALE		103,40	168.300	17.402.220

Dalle quote percentuali dei vari materiali e dal peso/kW è possibile, sulla base delle potenze installate (168.300 kW), calcolare i quantitativi di rifiuti. In che misura le masse di rifiuti separate secondo le singole frazioni componenti arriveranno allo smaltimento proprio in questa forma dipenderà dall'organizzazione del futuro sistema di raccolta e trattamento.

Celle a film sottile

La tabella seguente mette a confronto le composizioni in percentuale dei materiali dei moduli a film sottile con silicio amorfo, CIS e CdTe come semiconduttori. Come già detto, i moduli a film sottile sono relativamente poco diffusi, mentre sono prevalentemente impiegate le celle CdTe.

Il peso per unità di potenza dei moduli a film sottile a base di vetro (285 kg/kW) è quasi il triplo rispetto alle celle al silicio cristallino. Il peso delle celle a film sottile potrebbe però in futuro diminuire se verranno prodotti moduli in fogli.

Tab 18: Composizione dei moduli a strato sottile (Fonte: PV Cycle 2007)

	a-Si (celle al silicio amorfo)	CIS (celle al diseleniuro di rame-indio)	CdTe (celle al telluro di cadmio)
Quota %			
Vetro	90	85	95
Alluminio	10	12	<0,01
Silicio	<0,1		
Polimeri	10	6	3,5
Zinco	<0,1	0,12	0,01
Piombo	<0,1	<0,1	<0,01
Rame (cavi)		0,85	1
Indio		0,02	
Selenio		0,03	
Tellurio			0,07
Cadmio			0,07
Argento			<0,01

Dalle quote percentuali dei vari materiali e dal peso/kW è possibile, sulla base delle potenze installate (11.700 kW), calcolare i quantitativi di rifiuti. In che misura le masse di rifiuti separate secondo le singole frazioni componenti arriveranno allo smaltimento proprio in questa forma dipenderà dall'organizzazione del futuro sistema di raccolta e trattamento.

Tab 19: Stima dei flussi di rifiuti relativi a celle a film sottile (CdTe)

Composizione CdTe			Potenza installata	Quantitativi di rifiuti prodotti
Materiale	quota %	kg/kW _p	kW _p	kg rifiuti
Vetro	95	271,90	11.700	3.181.347
Alluminio	<0,01	0,01	11.700	117
Polimeri	3,5	10,00	11.700	116.789
Zinco	0,01	0,03	11.700	334
Piombo	<0,01	0,01	11.700	117
Rame (cavi)	1	2,85	11.700	33.368
Tellurio	0,07	0,20	11.700	2.336
Cadmio	0,07	0,20	11.700	2.336
Argento	<0,01	0,01	11.700	117
TOTALE		285,20	11.700	3.336.861

6.2 Materiali impiegati nei collettori solari termici

Come per i moduli fotovoltaici anche per i collettori solari termici i materiali impiegati variano a seconda del produttore e del tipo di collettore. Secondo [Jungbluth 2007] i materiali impiegati sono i seguenti.

In genere i collettori solari consistono in elemento assorbente, copertura, isolamento termico, telaio e guarnizioni. I materiali assorbenti possono essere rame, alluminio, acciaio inox o anche semplice acciaio. Per la copertura vengono impiegati vetro o polycarbonato. I materiali termoisolanti più frequentemente impiegati sono fibre minerali, schiume o pannelli sotto vuoto. Il telaio è generalmente in legno o alluminio, le guarnizioni sono per la maggior parte in gomma EPDM.

Per aumentare il rendimento gli elementi assorbenti vengono provvisti di rivestimenti selettivi con una buona capacità di assorbimento delle onde elettromagnetiche nel campo della radiazione solare e con un basso coefficiente di emissione nel campo dell'irraggiamento termico. Per la qualità del rivestimento è determinante, oltre alle caratteristiche ottiche, il comportamento rispetto all'invecchiamento. Nei collettori attualmente più comuni in commercio vi sono diverse soluzioni per il rivestimento, e precisamente processi di rivestimento a umido come il processo di cromatura continua a nastro, il processo di cromatura in bagno e Black Crystal nonché processi di rivestimento a secco come PVD (Physical Vapour Deposition), Sputtering, CVD (Chemical Vapour Deposition) e PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition). Nei collettori sottovuoto gli elementi assorbenti e il tubo per il fluido termico sono inseriti in tubi di vetro sottovuoto.

Tab 20: Impiego di materiale per collettori in kg/m² di superficie

Tipo di impiego	Materiale	Collettore piano		Collettore a tubi sotto-vuoto ¹	
		Galvanica	Sputter	Galvanica	TiNOX
Materiale assorbente	Rame	2,83	2,1	6	5,91
Raccordo filettato	Ottone	-	-	n.d.	0,48
Distanziatori	Acciaio inox	-	-	n.d.	0,13
Copertura	Vetro	9,9	7,5	22	13,14
Telaio	Alluminio	3,57	2	4	4 ²
Isolamento termico	Lana minerale	2,35	2	2	2
	Polistirolo	-	2	-	0,32
Guarnizioni della copertura	EPDMA	0,83	0,3	1	n.d.
Materiale di saldatura	Lega esente da Cd	0,022	0,01	0,1	n.d.

¹ non si sono considerati 0,03 kg di bario per m² di superficie assorbente per supportare il vuoto.

² Il dato è relativo a collettori a tubi sottovuoto con lamelle in rame rivestite in cromo nero

(ETH 1997, Klöckner 2002; IZT Bericht)

Dei quattro tipi di collettore riportati come esempio due sono collettori piani e due sono collettori a tubi sottovuoto, ciascuno con elementi assorbenti a lamelle in rame. Le superfici di assorbimento selettive sono rivestite, per entrambi i tipi di collettore, una volta per via galvanica con processo di cromatura nera e una volta con processo di sputtering ovvero TiNOX (Sputter).

Nella tabella dei materiali precedentemente riportata non sono stati indicati i sistemi di rivestimento. Dati gli spessori dell'ordine dei µm, i pesi in gioco sono trascurabili.

La struttura dei collettori non è cambiata molto negli ultimi anni. Le novità sono intervenute soprattutto riguardo al rivestimento selettivo delle superfici assorbenti ed alla tecnologia di collegamento.

Le novità riguardo al rivestimento selettivo sono tutte mirate al raggiungimento di una maggiore durata di vita assieme ad un aumento del rendimento. Al tempo stesso si sono sostituite le sostanze potenzialmente pericolose (tra cui cromo VI nel rivestimento galvanico) nelle catene di produzione.

Nella tecnologia di collegamento si rileva una tendenza al passaggio dalla saldatura con brasatura alla saldatura ad ultrasuoni, al plasma e al laser, che permettono di ottenere saldature più resistenti alla temperatura. Inoltre le saldature di collegamento tra la lamiera assorbente e il tubo assorbente fatte con sistema a brasatura contengono piombo, ossia un metallo pesante tossico soggetto a limiti di impiego. Anche in questo caso, dunque, modificando la tecnologia di collegamento si va a sostituire una sostanza potenzialmente pericolosa.

6.3 Obiettivi di politica ambientale e dei rifiuti

Moduli fotovoltaici

All'inizio del 2012 il parlamento europeo ha deliberato l'aggiornamento della direttiva sulla rotamazione degli apparecchi elettrici (Directive 2002/96/EC on waste electrical and electronic equipment - WEEE). Da quest'anno dunque sotto questa direttiva europea WEEE ricadono anche gli impianti fotovoltaici e i moduli solari. Entro il 2014 i singoli Stati dell'unione europea sono obbligati a convertire in legge nazionale tale regolamento. Riguardo alle quote di raccolta e recupero relative ai pannelli fotovoltaici è prevista una decisione a livello EU ancora entro il 2012. La direttiva WEEE concerne la raccolta, il trattamento e lo smaltimento di apparecchiature elettriche ed elettroniche ed applica il principio della responsabilità del produttore, cui compete l'obbligo del finanziamento di uno smaltimento a regola d'arte.

La direttiva RoHS, invece, stabilisce che a partire dal 2006 i nuovi apparecchi elettronici non debbano più contenere piombo, mercurio, cadmio e prodotti antifiamma a base di bromo. Ciò riguarda quindi anche i moduli Cd-Te, nonché altri moduli solari che utilizzano il piombo per collegare tra loro le singole celle. Peraltro, nell'appendice alla stessa direttiva si fa presente che sono ammesse eccezioni a tale divieto, qualora „... sotto il profilo tecnico o scientifico non sia possibile una sostituzione, o qualora gli effetti negativi per l'ambiente e la salute derivanti dalla sostituzione possano superare i vantaggi risultanti per l'uomo e l'ambiente dalla sostituzione stessa” (Ökopol, 2004). Così non è del tutto chiaro se e in che misura i moduli fotovoltaici ricadano sotto la direttiva RoHS.

Attualmente è in corso una revisione della direttiva EU-RoHS tendente a limitare la presenza di sostanze pericolose nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche ovvero a definire il campo di validità dei divieti riguardo alle sostanze pericolose. Si tratta di chiarire se la direttiva, che riguarda soprattutto beni di consumo, quali telefonini cellulari, tostapane o lettori CD, vada estesa a tutti gli apparecchi elettronici, compresi moduli solari. La direttiva interessa in primo luogo i moduli CdTe, ma anche altri tipi in cui per i collegamenti tra le celle viene impiegato piombo.

Secondo il regolamento REACH concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la limitazione di sostanze chimiche, il contenuto di Cd in materie plastiche, pitture e altri rivestimenti è limitato allo 0,01% in peso (100 ppm). La cadmiatura di superfici o di oggetti metallici è completamente vietata (ad eccezione ad es. per i contatti elettrici in tutti i prodotti). Attualmente è difficile prevedere come la commissione EU ovvero l'agenzia ECHA (Agenzia Europea per le sostanze chimiche) valuterà la pericolosità dei moduli fotovoltaici e se deciderà di applicare anche ad essi il limite di 100 ppm (Kummer, 2012).

Riguardo agli aspetti energetici del riutilizzo di moduli cristallini è indubitabile che l'impiego in un modulo di celle riciclate rispetto a celle prodotte da materie prime comporti un consumo di energia notevolmente minore. La tabella seguente illustra il confronto tra il consumo di energia nella produzione di moduli primari e riciclati.

Tab 21: Impiego di energia per la produzione di moduli PV (Ökopol 2004)

	Impiego di energia per la produzione di moduli PV	
	Moduli primari (kWh/Wafer)	Moduli riciclati (kWh/wafer)
Produzione di silicio	7,55	-
Produzione di celle solari	0,65	0,65
Produzione di moduli	1,12	1,12
Riciclaggio dopo la fase di utilizzo	-	0,4
TOTALE	9,32	2,17
Consumo di energia per kWh prodotto	0,129 kWh/kWh _{gen}	0,030 kWh/kWh _{gen}

I moduli PV contengono molte sostanze diverse, di cui alcune presentano un potenziale tossico per l'uomo o per l'ambiente, quali ad es. piombo, cadmio, selenio e argento. Il piombo appartiene ai potenti veleni ambientali, che si accumulano negli organismi viventi e nei sedimenti e che, in caso di assunzione anche di piccole quantità per un lungo periodo, possono determinare avvelenamenti cronici. Il cadmio è un metallo pesante che viene impiegato come collegamento nei moduli a film sottile (CdTe e CdS) e che non può uscire dal modulo a meno di non danneggiare l'accoppiamento. Il cadmio è una sostanza tossica, pericolosa per l'ambiente e nociva per la salute.

Collettori solari termici

In base alle conoscenze attuali gli impianti solari termici non saranno compresi nel nuovo regolamento previsto dalla direttiva europea WEEE.

In considerazione dei loro componenti pregiati i collettori devono essere raccolti, ad esempio tramite centri di riciclaggio, per poi essere trattati e recuperati. Gli involucri si possono aprire senza problemi con apposite cesoie metalliche in modo da poter estrarre i singoli componenti. Un alto potenziale lo hanno in particolare i metalli ferrosi e non ferrosi, mentre i materiali termoisolanti di norma vanno smaltiti (trattamento termico). Gli strati di materiale assorbente, ad esempio in biossido di titanio, possono essere recuperati assieme ai tubi (ad es. rame).

A seguito delle discussioni effettuate con diversi produttori si pone la domanda se e in che misura i collettori debbano essere avviati completamente al riciclaggio o se non sia sufficiente la sostituzione di alcuni componenti, o addirittura solo ad es. di guarnizioni, per recuperarne la funzionalità. A tale riguardo possono essere di grande utilità idonee istruzioni di smontaggio e di recupero da allegare ai collettori.

Inoltre è di grande importanza la costruzione dei collettori, che deve essere concepita in funzione della possibilità di riciclaggio dei singoli componenti, in particolare con una facile possibilità di smontaggio dei vari gruppi.

I fluidi termici sono costituiti di norma da miscele di acqua e glicolo. Essi vanno estratti dai moduli prima del loro smontaggio. In base ad una valutazione della LfU Bayern, miscele diluite di acqua e glicolo possono essere inviate in impianti di depurazione biologici senza che ciò comprometta la funzionalità dei fanghi attivi (LfU 2003).

6.4 Stato delle tecnologie di pretrattamento

Data la composizione speciale e complessa dei moduli solari fotovoltaici e termici è necessario già ora elaborare un'adeguata strategia di raccolta e riciclaggio/smaltimento avviando le relative misure di attuazione. Già oggi si pongono problemi di smaltimento per moduli solari termici obsoleti.

6.4.1 Opzioni per i moduli fotovoltaici

L'obiettivo di specifiche tecnologie di trattamento per pannelli fotovoltaici consiste nel recupero dei materiali pregiati, quali silicio e semiconduttori, delle celle a film sottile mediante separazione dei moduli nei loro componenti. La seguente tabella (Ökopol 2004) fornisce un quadro sintetico dei processi di separazione dei moduli solari.

Tab 22: Sistemi di trattamento per moduli PV

Processo	Output frazioni	Vantaggi	Svantaggi	Stato
Chimico	Wafer di silicio; vetro; sostanze chimiche usate; semiconduttori (il telaio metallico viene separato prima del trattamento)	Ricavo di silicio per il riutilizzo e recupero Ricavo di semiconduttori	Quantitativi di sostanze chimiche usate da smaltire	Non ritenuto attuabile per la decomposizione dell'accoppiato „vetro cristallino Si-EVA“. Per moduli a film sottile contenenti cadmio attualmente in fase di sperimentazione negli USA (First Solar Ltd)
Termico	Wafer di silicio; vetro; (il telaio metallico viene separato prima del trattamento)	Ricavo di silicio per il riutilizzo e recupero	Fabbisogno di energia; potenziale di emissioni nei gas di scarico; rifiuti dal trattamento dei gas di scarico	Attualmente un impianto pilota a Freiberg (Sassonia) in fase sperimentale per separazione di moduli cristallini (Deutsche Solar AG)
Meccanico (per moduli a film sottile)	Semiconduttori, vetro, plastica (il telaio metallico viene separato prima del trattamento)	Recupero di semiconduttori; nessun impiego di sostanze chimiche	Sabbia contaminata; polveri pericolose durante il processo	Processo pilota della BAM
Separazione con successivo impiego del vetro nel riciclaggio di vetro composito	Vetro (compreso silicio); (il telaio metallico viene separato prima del trattamento)	Sistema di separazione meccanica senza prodotti secondari da dover smaltire in aggiunta	Downcycling; intrusioni di silicio comportano difetti nel vetro; contenuti di Si, Cu, Pb + plastica comportano problemi di impiego di materiali riciclati nella produzione di vetro	Sperimentazioni concluse con moduli cristallini in impianto di riciclaggio di accoppiati di vetro; non idoneo per quantitativi maggiori

Processi chimici

Nei processi chimici la separazione di vetro, EVA e strato di silicio è effettuata per mezzo di solventi e acidi. Le frazioni che si ottengono in tal modo sono principalmente wafer di silicio e vetro. Peraltro, lo smaltimento delle sostanze chimiche è piuttosto problematico. La ditta statunitense First Solar gestisce a Francoforte/Oder in Germania un impianto di trattamento di moduli CdTe basato su un processo meccanico-chimico; qui i moduli vengono innanzitutto sminuzzati in un mulino a martelli (5 – 15 mm). Poi vengono separate le sostanze plastiche e quindi le frazioni rimanenti vengono immerse in un bagno di acido solforico, in cui il semiconduttore (CdTe) e il contatto metallico vengono disciolti. Il fango metallico arricchito di CdTe che precipita e viene poi filtrato viene mandato ad un impianto di recupero dei metalli. Analogamente, il vetro recuperato può essere venduto (Ökopol, 2004).

Secondo informazioni di stampa dell'aprile 2012 il gruppo statunitense First Solar intende chiudere, entro l'autunno 2012, il suo stabilimento di Francoforte/Oder a causa del peggioramento delle condizioni di mercato in conseguenza della forte concorrenza cinese (Spiegel 2012). Questo significherebbe la perdita di uno dei maggiori impianti di trattamento di moduli CdTe in Europa.

Separazione termica

In un primo stadio termico i materiali organici vengono ossidati, mentre rimangono i componenti inorganici (vetro, wafer) nonché le ceneri di materiali plastici e di laminati. I wafer, dopo un trattamento con acido, possono essere riutilizzati per nuove celle solari. Nel processo termico è necessario un trattamento abbastanza spinto dei gas di scarico poiché nella copertura posteriore sono impiegati fluoropolimeri. Le celle di silicio riciclate presentano una qualità ed un'efficienza paragonabile a quella delle celle originali.

A partire dall'autunno 2012 a Bitterfeld/Wolfen in Germania entrerà in funzione un impianto di trattamento con processo termico per celle al silicio cristallino nonché per moduli a film sottile gestito dalla ditta Solar Cycle GmbH (filiale della ditta SolarWorld AG). In tale impianto i moduli solari con relativo telaio ma senza cablaggi e attacchi vengono riscaldati per ca. 1 ora ad una temperatura di 550°C in modo da separare i materiali accoppiati. I gas pirolitici prodotti vengono sottoposti ad una post-combustione e quindi depurati; i residui della depurazione dei gas nonché i resti di materiali di riempimento devono essere smaltiti in discarica (Wambach 2003). Secondo quanto riferiscono rinomati produttori quali Solon e Q-Cells, la ditta SolarWorld è minacciata di insolvenza, il che probabilmente avrà effetti anche sulla filiale che gestisce l'impianto di trattamento.

Circa il 95% del vetro ottenuto dopo l'arrostimento può essere utilizzato senza ulteriori trattamenti come materia prima secondaria per la produzione di contenitori in vetro. Le celle di silicio, in forma intera o frammentata, a seconda dello stato in cui i moduli sono stati conferiti, vengono ripulite immergendole in un bagno chimico, ove gli strati di metallizzazione, antiriflesso e drogatura vengono asportati per effetto corrosivo. Come risultato si ottengono, nel caso di celle originariamente intatte, dei wafer completi (silicio di substrato) che – secondo quanto sostiene la Deutsche Solar AG – possono essere rimessi in vendita. I frammenti vengono invece fusi per produrre silicio solare che, dopo un controllo di qualità, può essere pure messo in vendita.

Separazione meccanica

Finora il processo è stato sperimentato con moduli a film sottile nell'ambito di uno studio da parte del Bundesanstalt für Materialforschung (BAM) in Germania. Il vantaggio di questo metodo consiste nel fatto che non prevede l'impiego di sostanze chimiche; l'aspetto problematico è legato allo sviluppo di polveri pericolose.

Si ritengono necessarie ulteriori ricerche a riguardo.

Conclusioni riguardo alle tecnologie di recupero

Riassumendo, si può affermare che la separazione termica sotto il profilo ecologico è meno problematica rispetto alla separazione chimica, in quanto la prima non comporta lo smaltimento di sostanze chimiche di processo. Peraltro, bisogna evitare l'emissione di sostanze nocive nei gas di scarico (soprattutto acido fluoridrico) e la formazione di composti organici alogenati. L'aspetto positivo del trattamento termico consiste nella possibilità di recupero quasi integrale dei wafer di silicio. Anche i wafer danneggiati (frammenti di silicio) possono essere comunque riutilizzati come silicio solare. Anche se il consumo energetico è maggiore rispetto al processo di trattamento chimico, grazie alla possibilità di reinserimento completo dei materiali riciclati nel ciclo materiale, il processo termico è in linea con gli obiettivi di risparmio delle risorse. I vantaggi ecologici corrispondono alle esigenze economiche, poiché la disponibilità di silicio pregiato proveniente dall'industria elettronica (rispetto al più costoso silicio proveniente da altre fonti) non sarà sufficiente a coprire il crescente fabbisogno futuro di silicio solare. Per tale motivo il riciclaggio di vecchi moduli è destinato ad acquisire sempre più importanza.

Nel sistema di trattamento delle celle CdTe a film sottile della ditta First Solar si garantisce un ciclo materiale chiuso in cui il cadmio estratto viene reintrodotta nel ciclo dei metalli. Peraltro, una raccolta separata con successivo riciclaggio dei vecchi moduli CdTe è attuabile solo limitatamente, dato che il cadmio si ottiene comunque nell'estrazione di metalli (ad es. dello zinco) e quindi in futuro non dovrebbe mai scarseggiare; per tale motivo il conferimento del cadmio in discarica rispetto alla chiusura del ciclo sarà ancora prevalente.

6.4.2 Opzioni per i moduli solari termici

Dopo aver estratto il liquido termico i moduli solari termici possono essere scomposti senza problemi nei loro singoli componenti, in modo da poterli avviare ad un riciclaggio di qualità. Particolarmente pregiati sono i metalli non ferrosi, quali soprattutto alluminio e rame.

Secondo i dati forniti da diversi produttori, i collettori vengono aperti, scomposti nelle singole parti, pesati e quindi avviati alle varie forme di smaltimento. Sotto il profilo del recupero materiale i collettori solari si distinguono per un numero definito di frazioni di materiali separabili, abbastanza facilmente identificabili. Tra queste frazioni vi sono

- metalli (prevalentemente rame, leghe di rame, alluminio e acciaio),
- sostanze minerali (lana minerale o di vetro, vetro),
- plastiche (schiuma di PU, ABS, gomma, ecc.).

Riguardo allo smaltimento degli elementi assorbenti non esistono allo stato attuale particolari raccomandazioni da parte delle associazioni di categoria, ossia finora è stata data poca importanza alla composizione dei materiali di rivestimento delle superfici assorbenti. In uno studio del IZT [IZT 2009] si fa cenno al fatto che la produzione galvanica del rivestimento selettivo è in calo e da parte di molte aziende è stata abbandonata a causa delle norme che impongono di evitare il cromo VI nella produzione. Non è tuttavia chiaro in che misura tali rivestimenti assorbenti siano stati impiegati in passato. Poiché le ditte produttrici di collettori solari termici sono in genere aziende di piccole dimensioni, sul mercato vi è una grande varietà di collettori. Ciò vale

sicuramente anche per l'Italia e la provincia di Bolzano. Sembra pertanto opportuno provvedere i vecchi moduli destinati al recupero di idonee istruzioni ed a tal fine interpellare i principali produttori per la provincia di Bolzano riguardo ai materiali assorbenti impiegati nel passato.

7 Sistemi di raccolta

7.1 Sistema di raccolta per moduli fotovoltaici (PV)

Per far fronte agli obiettivi ecologici nonché alle condizioni stabilite dalle leggi riguardo al riciclaggio dei moduli fotovoltaici è necessario un sistema di raccolta articolato e chiaramente organizzato. Poiché dall'inizio del 2012 i vecchi moduli PV sono stati inseriti nella direttiva sul rottamaggio di apparecchiature elettriche (WEEE), per i rifiuti PV vale il principio della responsabilità del produttore. Perciò i produttori di moduli PV sono obbligati a provvedere al loro recupero conformemente alla legge ed al loro smaltimento in forma ecologica, partecipando ad un sistema organizzato di raccolta o implementandolo essi stessi.

Il maggiore sistema esistente è PV-Cycle, che è stato creato dall'associazione della maggior parte dei produttori PV. Vale quindi la pena di descriverlo in modo esauriente. Si fa comunque presente che per la raccolta di questi materiali dovrà essere indetta una gara di appalto. In linea di principio vi sono due modelli di soluzione concorrenziali tra loro. Da un lato è pensabile una soluzione specifica nel settore, ad esempio tramite PV-Cycle. Peraltro, se anche i moduli solari saranno inseriti nel gruppo di prodotti 4 degli apparecchi elettrici ed elettronici, è abbastanza ovvio un coinvolgimento delle organizzazioni e delle ditte già attive in questo segmento.

7.1.1 Sistema PV-Cycle

Già nel 2007 i produttori e gli importatori PV si sono associati nel consorzio PV Cycle al fine di organizzare, su base volontaria, un sistema di raccolta a livello europeo di vecchi moduli PV. PV Cycle è responsabile del funzionamento dell'intera catena, dalla raccolta al riciclaggio fino allo smaltimento sicuro dei residui.

I compiti del centro amministrativo di PV Cycle comprendono:

- registrazione dei membri PV Cycle;
- registrazione, raccolta e gestione dei dati relativi a tutti i moduli PV in circolazione, codificati in base alla tipologia ed al produttore;
- registrazione, raccolta e gestione dei dati relativi ai moduli PV raccolti e riciclati;
- controllo del finanziamento del sistema.

Come base di calcolo per la ripartizione dei costi si è considerata la quantità di moduli messa in circolazione dai singoli produttori o importatori nonché la quantità di moduli effettivamente raccolti. PV Cycle ha definito, per il 2015, una quota di raccolta dell'80% ed una quota di riciclaggio del 90% a partire dal 2013.

Il sistema di ritiro consiste in una rete strategica - responsabile di progettazione, management e controlling – e in una rete regionale – cui competono i processi operativi (centri di produzione, centri di raccolta, trasporto, trattamento e recupero).



Fig. 52: Sistema di raccolta e riciclaggio di PV Cycle

Nel caso di impianti industriali con oltre 30 – 40 moduli si può contattare direttamente PV Cycle e questa provvede, tramite una ditta associata, a prelevare gli impianti obsoleti per trasportarli, nel migliore dei casi, direttamente ad un impianto di trattamento.

Per impianti privati con piccoli quantitativi di moduli PV sono stati predisposti appositi centri di raccolta. Nel caso in cui il centro di raccolta sia partner di PV Cycle i privati possono conferire i loro moduli obsoleti gratuitamente. Nel centro di raccolta i moduli vengono stoccati separatamente in base alla tipologia in appositi container; non appena i container sono pieni vengono prelevati da una ditta di trasporto incaricata da PV Cycle. In Italia vi sono attualmente 74 centri di raccolta certificati, tutti partner di PV Cycle; 2 di essi sono in Alto Adige.

Analogamente, con sistemi di ritiro periodici, vengono raccolti anche i moduli provenienti dagli stabilimenti di produzione oppure danneggiati durante il trasporto.



Fig. 53: Centri di raccolta di PV Cycle in Italia

Oltre ai centri di raccolta ed alle imprese di trasporto nella rete di PV Cycle sono compresi anche impianti di trattamento. Tra questi vi sono ad esempio i seguenti:

- ditta Loser Chemie a Zwickau - trattamento di moduli a film sottile (CdTe, CIS/CIGS);
- ditta Saperatec a Bielefeld - trattamento di moduli a film sottile (CdTe, CIS/CIGS);
- diversi impianti di riciclaggio di celle al silicio cristallino in Belgio, Lussemburgo e Germania;
- la ditta First Solar è partner di PV Cycle ed i suoi moduli sono registrati da PV Cycle; la raccolta e il recupero delle celle a film sottile prodotte dalla First Solar sono effettuate direttamente dalla stessa First Solar. L'impianto a Francoforte/Oder ricicla i moduli prodotti dalla stessa ditta con una tecnologia appositamente sviluppata.
- In Italia attualmente non vi è alcun partner di riciclaggio certificato.

Nel 2011 da parte di PV Cycle sono state raccolte 1.400 tonnellate e nel primo trimestre del 2012 è stata raggiunta già il 70% della quantità raccolta in tutto il 2011. Di questa il 90% proviene da grandi impianti PV, ed è prelevata da PV Cycle su richiesta. Il 10% della quantità complessiva raccolta è stata conferita da privati nei centri di raccolta. La quota raccolta rispetto al totale ha raggiunto nel 2011 già il 70%; PV Cycle è intenzionata a raggiungere una quota di raccolta dell'85% (energoclub 2012).

A parte gli impianti di trattamento elencati nella pagina precedente, che sono tutti partner di PV Cycle, attualmente in Europa sono in funzione o in fase di progettazione i seguenti impianti non appartenenti a PV Cycle:

- Solar Cycle GmbH (filiale di Solarworld AG) a Bitterfeld/Wolfen: trattamento di celle al silicio cristallino; il concetto tecnico dell'impianto proviene dalla Sunicon ed è relativo all'impianto pilota funzionante a Freiberg;
- la ditta Lobbe sta progettando un impianto a Espenhain/Lipsia per il riciclaggio di celle a film sottile, celle solari cristalline nonché schermi LCD.

Secondo PV Cycle i moduli PV obsoleti prodotti in Germania nel prossimo decennio potranno essere trattati negli impianti di riciclaggio PV esistenti e progettati in Germania.

7.1.2 Requisiti logistici in Alto Adige

Sia nel caso delle celle cristalline che delle celle a film sottile CdTe è necessario che i moduli conferiti siano quanto più possibile integri, onde ottenere i migliori risultati possibili per i prodotti in uscita, anche sotto il profilo economico. Tenuto conto dei costi di trasporto all'impianto di trattamento sembra difficile raggiungere degli utili. Gli obblighi, conseguenti dall'applicazione della direttiva WEEE, di organizzazione di un sistema di ritiro esteso a tutto il territorio con relative quote di raccolta e di riciclaggio comportano dei costi, che i produttori e gli importatori devono scaricare sui prezzi di vendita.

PV Cycle rappresenta circa il 90% dell'industria PV europea. Questa percentuale, secondo una ricerca condotta su Internet e attraverso contatti con le principali ditte PV dell'Alto Adige, dovrebbe corrispondere anche al mercato PV provinciale. Per il 90% dei moduli PV vi sarebbe dunque già un sistema di ritiro ben stabilizzato in grado di garantire la possibilità di conferimento gratuito da parte di privati nei centri di raccolta nonché il prelievo diretto nel caso di impianti fotovoltaici maggiori di 30 – 40 moduli, il trasporto a un impianto di trattamento e il riutilizzo/recupero dei componenti selezionati, chiudendo in tal modo il circuito materiale.

In Alto Adige esistono attualmente 3 centri di raccolta nell'ambito del sistema PV Cycle, e precisamente:

- Brunico (Leitner Solar)
- Varna (Leitner Solar)
- Velturmo (Obrist GmbH)



Fig. 54: Centri di raccolta PV Cycle in Alto Adige

Si può notare che i centri di raccolta disponibili sono situati abbastanza vicini tra di loro e solo la Val Pusteria nonché una parte della Valle Isarco (Bressanone e Chiusa con frazioni limitrofe) dispongono di centri di raccolta.

Inoltre la città di Bolzano dista 35 km dal più vicino centro di raccolta di Veltur, Merano si trova a una distanza di 70 km e Malles in Val Venosta ad una distanza di 120 km.

Dato che i centri di raccolta sono piuttosto concentrati nella metà orientale del territorio provinciale, si consiglia di prevedere almeno altri tre centri di raccolta in modo da raggiungere una quota di raccolta più alta possibile in Alto Adige, e precisamente in:

- zona Bolzano (Bassa Atesina, Val d'Ega, Val Sarentino, Renon, S.Genesio)
- zona Merano (Burggraviato)
- zona Silandro (Val Venosta)

In alternativa deve essere creata la possibilità di conferire i vecchi moduli nei centri di riciclaggio pubblici della provincia di Bolzano. Poiché dall'inizio del 2012 i vecchi moduli PV sono stati compresi nella normativa sui vecchi apparecchi elettrici, si deve assumere che i vecchi moduli PV siano stoccati, trasportati e riciclati con modalità simili rispetto ai vecchi apparecchi elettrici e che quindi il ritiro dei moduli PV possa essere combinato al ritiro dei vecchi apparecchi elettrici tramite centri di riciclaggio pubblici.

Secondo informazioni della ditta Leitner Solar (partner vordin PV Cycle) nel centro di raccolta della ditta sono stati già conferiti moduli PV di produttori non membri di PV Cycle. Leitner Solar non può accettarli in quanto poi non vengono ritirati da PV Cycle.

In questi casi si è cercata una soluzione alternativa, contattando direttamente il produttore in modo che fosse quest'ultimo a ritirare i vecchi moduli.

In futuro il numero di moduli vecchi che non possono essere ritirati da PV Cycle sono però destinati ad aumentare e quindi deve essere creata al più presto la possibilità di conferimento dei moduli PV nei centri di riciclaggio pubblici. Fondamentale è in ogni caso un'adeguata politica di informazione riguardo alle possibilità di conferimento dei vecchi moduli PV nonché riguardo ai centri di raccolta organizzati da PV Cycle attraverso i comuni e le principali imprese di smaltimento (Hellmann, 2010).

7.2 Sistema di raccolta per collettori solari termici

Allo stato attuale delle nostre conoscenze la raccolta e il recupero dei vecchi collettori solari non rientra nella nuova direttiva WEEE. Perciò per essi non si applica il principio della responsabilità del produttore come nel caso dei moduli PV. Ciononostante anche per gli impianti solari termici va pretesa una responsabilità di principio dei produttori riguardo al prodotto.

In Germania i produttori appartenenti al sistema di marchio di qualità ambientale „Blauer Engel“ (RAL UZ 73) si impegnano a ritirare i vecchi collettori. Il marchio di qualità ambientale Blauer Engel viene assegnato in collaborazione con il Ministero federale per l'ambiente da un'apposita giuria. Una forma di impegno volontario al ritiro da parte di produttori e commercianti potrebbe essere concepita anche per la provincia di Bolzano, nel caso che a livello italiano non fosse già stato costituito un apposito consorzio in tal senso. Il prevedibile forte aumento di vecchi collettori da smaltire necessita un impegno ad individuare idonee soluzioni di integrazione delle esistenti strategie di riciclaggio.

In considerazione del valore dei componenti e dell'elevato potenziale di riutilizzo/recupero si dovrebbe realizzare un sistema in grado di garantire una quota di raccolta più elevata possibile. In Alto Adige vi sono attualmente 76 centri di riciclaggio pubblici comunali e 4 centri di riciclaggio sovracomunali (Klimaland 2012) per il conferimento separato di materiali riciclabili; tutto ciò, assieme alla possibilità di ritiro da parte di produttori e commercianti, dovrebbe rappresentare un sistema di raccolta sufficientemente diffuso sul territorio.

Nei punti di raccolta i collettori dovrebbero essere possibilmente predisposti in modo selezionato. Secondo una comunicazione telefonica da parte del Sig. Metz, della deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V., la riparazione dei collettori è in aumento. Poiché nella maggior parte dei casi si tratta di sostituire le guarnizioni, con poca spesa è possibile prolungare (spesso in modo significativo) la vita degli impianti. Ciò però può essere considerato anche un indizio del fatto che attraverso la sostituzione di alcuni componenti sia possibile il riutilizzo dei collettori. Ma questo pretrattamento finalizzato al riutilizzo come forma di recupero è possibile solo se la raccolta dei collettori, ad esempio presso i centri di riciclaggio, è effettuata in modo accurato evitando di danneggiarli.

Nello smaltimento dei vecchi collettori occorre fare attenzione ad un problema specifico di questo tipo di impianti, che talvolta contengono cromo VI o piombo (nel materiale di saldatura); queste sostanze possono dare luogo nell'impianto di trattamento alla produzione di polveri pericolose. Per il resto, le frazioni pregiate dei collettori possono essere corrispondenti alle frazioni metallo, legno, plastica e vetro, ad es. dopo un trattamento in un impianto di riciclaggio di rifiuti.

III Raccomandazioni

8 Riassunto

Con la costruzione di edifici con standard CasaClima la varietà di materiali da costruzione e di tipologie costruttive aumenta. Ciò non ha effetti solo sulla progettazione e sull'esecuzione degli edifici. Se infatti essi dopo un certo tempo vengono risanati radicalmente o addirittura demoliti, questa grande varietà di materiali e sostanze deve essere smaltita. E si tratta dunque di predisporre adeguate misure in tal senso.

Nel presente progetto è stato possibile effettuare solo una suddivisione grossolana nelle singole tipologie costruttive. Nella pratica le divisioni tra le varie tipologie non sono così nette, il che aumenta notevolmente le varietà in gioco.

In una tipologia costruttiva monolitica vengono impiegati materiali da costruzione comuni, ma con pareti di spessore adeguatamente maggiorato. L'alternativa a tale tipologia costruttiva consiste nell'impiego di materiali da costruzione compositi, che presentano un nucleo in materiale termoisolante. Il primo caso non comporta alcuna modifica nella prassi esistente e collaudata di trattamento e recupero. L'impiego di materiali da costruzione compositi, invece, in base ai sondaggi effettuati tra l'altro con imprese di riciclaggio di materiali di demolizione, comporta notevoli problemi. In effetti, una separazione netta di tali materiali compositi non è possibile né in fase di demolizione né in fase di trattamento, e ciò riduce significativamente la possibilità di recupero dell'intera massa di materiale di demolizione.

La soluzione classica sia nel risanamento energetico di edifici che nel caso di nuove costruzioni è la combinazione della parete minerale con un isolamento esterno, in genere in polistirolo. Tale sistema termoisolante a cappotto è anche in provincia di Bolzano la soluzione classica. Come dimostrano le esperienze pratiche in Germania una separazione di questi materiali è possibile, in modo relativamente soddisfacente, già durante la demolizione, anche con sistemi meccanici. L'esperienza dimostra che i restanti materiali di demolizione minerali contengono ancora una quantità così bassa di sostanze estranee, da rendere possibile un trattamento classico del materiale di demolizione con un output di prodotti con caratteristiche regolari. Tuttavia il trattamento dovrebbe prevedere, a livello standard, una fase di separazione dei materiali leggeri.

La costruzione a telai/tavolati in legno è la tipologia costruttiva tipica per le case prefabbricate. La percentuale di materiali da costruzione minerali in questa tipologia costruttiva è molto bassa. Prevalgono altri materiali da costruzione con caratteristiche diverse. Nei telai in legno vi sono anche plastiche e altri materiali leggeri e termoisolanti. Una demolizione selettiva deve essere possibile con relativa facilità, in modo che i materiali da costruzione minerali possano essere conferiti in condizioni abbastanza pulite agli impianti di riciclaggio di materiali di demolizione, mentre i rimanenti materiali da costruzione, dopo una separazione tra materiali con alto potere calorifico e con basso potere calorifico, possano essere adeguatamente smaltiti o riutilizzati energeticamente.

Riguardo alla questione del recupero dei diversi materiali da costruzione in relazione alla tipologia costruttiva sono determinanti i rispettivi risultati di recupero ovvero effetti di sostituzione. Per descrivere in modo più preciso questo aspetto è stato effettuato un bilancio ecologico per due tipologie costruttive di edificio. La tipologia costruttiva medio-pesante con sistema termoisolante a cappotto rappresenta anche per la provincia di Bolzano la soluzione classica, mentre la tipologia costruttiva a telai in legno è ancora poco diffusa, anche se viene impiegata sempre più

spesso. Nel bilancio ecologico sono stati considerati solo i materiali delle pareti esterne nonché della platea di fondazione.

Per tutti i componenti non minerali negli edifici è stata ipotizzata la combustione nell'inceneritore di rifiuti di Bolzano. Questo impianto è collegato in modo da poter immettere energia elettrica nella rete pubblica e calore nel sistema di teleriscaldamento cittadino. Il calore prodotto nell'impianto sostituisce altrettanta energia termica prodotta con metano, mentre l'energia elettrica prodotta nell'impianto sostituisce altrettanta energia elettrica prodotta con un mix di fonti energetiche tipico per l'Italia, in gran parte costituito anche in questo caso da metano.

I materiali ottenuti dal trattamento di materiali da costruzione minerali possono essere in gran parte riutilizzati come prodotti edili minerali soprattutto per la costruzione di strade e rilevati. Tali materiali da costruzione vanno a sostituire altrettanti quantitativi in peso di materiali da costruzione che dovrebbero essere altrimenti prodotti da materiali litoidi primari; i processi di recupero sono meno onerosi rispetto a quest'ultima ipotesi in modo che i guadagni della sostituzione compensano più o meno gli oneri connessi al trattamento dei materiali di demolizione.

Al di là di tutti gli effetti ambientali considerati l'opzione della tipologia costruttiva leggera (del tipo a telai in legno) risulta la più vantaggiosa sotto il profilo dello smaltimento. Poiché nella tipologia costruttiva leggera una grande percentuale del legno può essere riutilizzata energeticamente, ne risulta avvantaggiato soprattutto l'aspetto della tutela del clima. Determinante è la sostituzione di fonti energetiche fossili. Qualora in Italia energia e calore fossero prodotte da fonti energetiche rinnovabili, allora con la demolizione delle CaseClima questo vantaggio svanirebbe.

Per una valutazione conclusiva degli aspetti ecologici relativi alle due tipologie costruttive è tuttavia necessario un confronto dei risultati con gli oneri o impatti ecologici connessi con la produzione dei vari materiali da costruzione. La produzione di alcuni materiali da costruzione, come ad es. il calcestruzzo, comporta notevoli oneri ambientali. Per una valutazione grossolana di questi oneri specifici risultanti dalla produzione dei materiali da costruzione necessari per le due tipologie costruttive considerate si sono utilizzati i dati di diverse banche dati.

In base alla valutazione delle due categorie di impatto ambientale considerate risulta tendenzialmente avvantaggiata la tipologia costruttiva massiccia con sistema termoisolante a cappotto. Riguardo alla valutazione della tipologia costruttiva leggera assumono un'importanza molto rilevante i contributi specifici della produzione della lana di roccia, legati al notevole consumo di energia necessario per i processi di produzione. La lana di roccia è infatti il materiale isolante classico impiegato per il riempimento delle pareti con intelaiatura in legno, ma a tale scopo può essere anche impiegato polistirolo espanso. Se al posto della lana di roccia si introduce nel bilancio quest'ultimo materiale isolante, risulta tendenzialmente avvantaggiata la tipologia costruttiva leggera.

In una valutazione definitiva bisogna tenere conto, oltre che delle classiche categorie di impatto ambientale, anche del risparmio delle risorse. Nel caso della tipologia costruttiva leggera si tratta, almeno allo stato attuale, di un sistema chiuso. Tutti i materiali organici della tipologia costruttiva leggera possono essere recuperati non solo sotto il profilo materiale, ma anche energetico. Un utilizzo a cascata, ovvero un utilizzo multiplo dei materiali non è possibile, tranne che nel caso dei materiali minerali.

All'ottimizzazione del settore dell'edilizia abitativa contribuisce, sotto il profilo della tutela del clima, anche la produzione e l'utilizzo di fonti di energia rinnovabili. A tal fine sugli edifici vengono installati impianti solari classici per la produzione di calore e moduli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica. Nello studio si è quindi affrontata anche la problematica degli effetti ecologici legati al loro smaltimento.

Gli impianti per la produzione di energia elettrica vengono installati solo da pochi anni in forma ingente sui tetti delle case. Calcolando una durata di utilizzo di almeno 25 anni si prevede quindi che solo tra molti anni si dovranno smaltire grandi quantitativi di vecchi moduli. Per la maggior parte si tratta di celle solari al silicio cristallino e solo per circa il 10% di celle a film sottile.

Già attualmente esistono per questi tipi di moduli delle possibilità tecniche di trattamento e recupero, mentre altre sono in fase di studio e di sviluppo. Già oggi queste opzioni di riciclaggio garantiscono un recupero di qualità ed un'elevata quota di riciclaggio. Peraltro, gli impianti di trattamento esistenti sono concentrati in prossimità di grandi industrie produttrici di impianti PV e quindi soprattutto in Germania.

Con PV Cycle da parte dei produttori è stato organizzato negli ultimi anni un sistema di consorzio volontario in grado di garantire la raccolta e il recupero di moduli PV obsoleti. Con la nuova direttiva aggiornata WEEE la commissione EU intende inserire i moduli fotovoltaici nel sistema di riciclaggio obbligatorio degli apparecchi elettrici ed elettronici; i singoli stati dovranno poi convertire in legge tale normativa. Di conseguenza anche per i moduli solari dovrà essere sviluppato un sistema di raccolta e recupero/smaltimento diffuso su tutto il territorio sotto la responsabilità dell'industria produttrice, a prescindere dal fatto se tale sistema sarà affidato a PV-Cycle o ad altri.

Gli impianti solari per la produzione di calore sono già impiegati da lungo tempo e in grande quantità. Già oggi perciò i primi impianti solari installati possono aver raggiunto la fine della loro vita utile e devono quindi essere smaltiti. In ogni caso questo avverrà in un futuro abbastanza prossimo.

Gli impianti solari termici presentano una struttura relativamente semplice, connessa con un potenziale di recupero elevato. Essi possono essere infatti essere smontati in modo relativamente semplice nei loro singoli componenti e separati in frazioni recuperabili. La loro struttura offre la possibilità sia di recuperare i singoli componenti, che di riutilizzare gli interi impianti una volta sostituiti alcuni componenti danneggiati.

Poiché nel caso degli impianti solari termici vi è un gran numero di piccoli costruttori, i dati disponibili riguardo ai materiali componenti sono abbastanza carenti. Ciò vale soprattutto per gli impianti solari installati anni fa e quindi destinati a entrare per primi nel circuito di smaltimento. Poiché questi primi impianti sono stati installati in parte in un momento in cui gli standard ambientali erano decisamente meno restrittivi rispetto al presente, bisogna tenere conto anche di alcuni problemi di sostanze nocive, in particolare per quanto riguarda i liquidi termici/frigoriferi nonché i materiali assorbenti impiegati.

Un sistema di raccolta e recupero di questo tipo di impianti deve essere ancora organizzato, ma esiste sicuramente la possibilità di creare un sistema idoneo a livello regionale.

9 Raccomandazioni

Sulla base delle conoscenze acquisite nell'ambito del presente studio si pone la questione di trarre delle conclusioni.

I sistemi di CaseClima nonché di utilizzo dell'energia solare considerati sono ormai pratica consolidata da parecchi anni. Si tratta dunque di verificare in che misura i sistemi di smaltimento/recupero/riciclaggio siano idonei ad affrontare i flussi di materiali che ne conseguono e in che modo debbano essere adeguati.

Anche in futuro gli edifici dovranno essere costruiti con alti standard energetici, anche in futuro ci sarà la necessità di produrre energia elettrica e calore dall'energia solare. In questo contesto si tratta di verificare in che misura, sulla base delle conoscenze disponibili, si possano dare raccomandazioni dirette alla scelta di opzioni operative o soluzioni tecniche particolari.

9.1 Retrospettiva

CasaClima: conclusioni per le imprese di demolizione / attività di smaltimento

Con l'ottimizzazione energetica degli edifici si avrà nella maggior parte dei casi un mix di materiali leggeri e di materiali isolanti nonché di materiali da costruzione minerali. Ciò vale quasi sempre nel caso di risanamenti di edifici esistenti, ma anche nel caso delle classiche soluzioni adottate per le nuove costruzioni.

Ciò significa che in futuro si avranno non solo materiali di demolizione costituiti da diversi prodotti minerali, ma un mix di materiali. Se la percentuale di componenti estranei (legno, plastica, ecc.) nel materiale in ingresso supera una certa entità, anche con un impianto di trattamento di materiali di demolizione stazionario con separatore di materiali leggeri non è più possibile garantire la produzione di materiali da costruzione riciclati, per l'impossibilità di rispettare le specifiche necessarie per lo smercio dei prodotti. L'elevata percentuale di sostanze estranee nel materiale determina inoltre un'impressione visiva molto negativa, tale da rendere impossibile la sua accettazione da parte del cliente, a prescindere dalle effettive caratteristiche del prodotto.

Se si vuole dunque garantire anche in futuro il riciclaggio su larga scala dei rifiuti derivanti dalla demolizione di edifici per la produzione di materiali da costruzione, è indispensabile un alto grado di selezione già al momento della demolizione. Anche gli stessi materiali leggeri sono commerciabili per la produzione di combustibili solo se il contenuto di minerali è sufficientemente basso. Nella demolizione degli edifici va dunque prestata grande attenzione ad assicurare una accurata separazione tra frazione minerale e non minerale.



Fig. 55: Trattamento e riciclaggio di materiale inidoneo

La demolizione selettiva può diventare prassi comune se saranno garantite le seguenti condizioni:

- Lo smaltimento di una miscela di materiali di demolizione con elevata quota di materiali estranei deve comportare costi piuttosto alti; ciò al fine di rendere vantaggiosa, in un calcolo complessivo, la demolizione selettiva, nonostante i maggiori oneri anche economici che essa comporta.
- Ciò significa che per questi materiali deve essere reso possibile solo lo smaltimento in discarica o in appositi impianti di trattamento; le possibilità di smaltimento „a basso costo“, per lo più al limite della legalità, devono essere impediti anche in futuro.
- La demolizione selettiva può essere anche posta come condizione per autorizzare una demolizione; si tratta di verificare sotto il profilo giuridico se tale disposizione necessita di una giustificazione materiale, ad es. derivata dalla normativa EU sui rifiuti e dagli obiettivi sulla produttività delle risorse o simili; probabilmente dovrebbe però essere sufficiente una modifica delle norme edilizie locali.
- Tutte le misure vanno naturalmente accompagnate da un'adeguata attività di informazione pubblica.
È inoltre utile usare come riferimento per tale attività di informazione idonei esempi di interventi realizzati dalla mano pubblica.

A prescindere da tutto quanto sopra detto, gli impianti di trattamento dei materiali di demolizione dovranno comunque essere necessariamente dotati di separatori di materiali leggeri. In una certa misura ciò è possibile, con impiego di tecnologie abbastanza semplici, anche nel caso di piccoli impianti mobili. Questi interventi dovrebbero essere promossi in collaborazione con associazioni regionali e istituzioni del settore dello smaltimento dei rifiuti.

I costi per la demolizione di una CasaClima e per il trattamento recupero e smaltimento dei relativi materiali sono tendenzialmente più alti rispetto ad edifici di tipo convenzionale.

L'edificio, indipendentemente dalla tipologia costruttiva o dagli standard CasaClima, deve essere sempre visitato in via preliminare, in modo da poter effettuare un calcolo dei costi; nel sopralluogo si dovrà verificare se e in che misura vi siano sostanze nocive e/o materiali da costruzione problematici di cui tenere conto.

Nella fase successiva si dovrà procedere allo svuotamento dell'interno dell'edificio, ossia alla rimozione dei pavimenti in legno o in moquette, dell'eventuale asbesto in abbaini, timpani o gronde, dei pannelli in cartongesso o anche delle finestre. In caso di tipologia costruttiva leggera in questa fase, assieme alla rimozione dei pannelli in cartongesso, si devono possibilmente aprire le pareti per rimuovere il materiale isolante. Ciò è necessario sia per motivi di tutela del lavoro, sia per eliminare materiali che altrimenti creerebbero problemi nella fase successiva di recupero. Anche a questo riguardo la demolizione di una CasaClima non comporta necessariamente maggiori costi.

Per un edificio con una cubatura grezza di 1000 m³ vanno calcolati circa 4 – 5 giorni di tempo per la demolizione, così distribuiti: 1 giorno per lo svuotamento interno dell'edificio, 3,5 giorni per la demolizione nel caso di tipologia costruttiva massiccia e 3 giorni nel caso di altre tipologie costruttive. Se si rimuove innanzitutto il sistema termoisolante a cappotto con mezzi meccanici, i tempi di demolizione aumentano al massimo di 1 giorno, ossia di circa il 20%.

La crescente varietà di materiali impiegati nonché l'aumento dei requisiti di qualità richiesti per essi rendono indispensabile provvedere gli impianti stazionari di trattamento di materiali di demolizione di separatori di materiali leggeri, a prescindere dal tipo di edificio (CasaClima o altro).

Utilizzo dell'energia solare: conclusioni per le attività di smaltimento

Mentre con l'inserimento degli impianti fotovoltaici nella nuova direttiva WEEE ovvero nella corrispondente normativa nazionale in futuro vi saranno le basi per la regolamentazione di un sistema organizzato di raccolta e riciclaggio dei vecchi moduli fotovoltaici, rispetto al quale in provincia di Bolzano ci si possono attendere quantitativi di un certo rilievo solo tra alcuni anni, per ottimizzare lo smaltimento degli impianti solari termici è invece necessario il sostegno dell'amministrazione provinciale di Bolzano.

I possibili punti di partenza sono:

- Rafforzamento della responsabilità riguardo ai prodotti:
rafforzamento ed ampliamento dei sistemi di ritiro volontario da parte delle aziende artigiane e dei produttori; sostegno mediante attività di informazione mirata.
- Sostegno ai sistemi di riciclaggio
Possibilità di conferimento ai centri di riciclaggio pubblici degli impianti solari e loro stoccaggio separato evitando di danneggiarli;
rilevazione, nell'ambito di un apposito progetto di ricerca, degli impianti solari per i quali in passato sono stati impiegati cromo VI e piombo ed analisi delle relative conseguenze; eventualmente identificazione dei moduli contaminati nei centri di riciclaggio con adeguate istruzioni per i riciclatori. Questi aspetti, nonché quelli riguardo alle possibilità di riutilizzo, possono essere approfonditi dallo studio attualmente in corso per la ditta Santini.

- Sostegno al riutilizzo ed al pretrattamento ai fini di riutilizzo; iniziative nell'ambito della gestione dei rifiuti volte al prelievo ed al riutilizzo di componenti costruttivi.

9.2 Prospettive future

Consulenza dell'Agenzia CasaClima

Fino ad oggi, stando alle informazioni acquisite, l'impiego di materiali da costruzione compositi in Alto Adige è ancora abbastanza sconosciuto. In considerazione dei problemi non ancora risolti riguardo alla demolizione di edifici di questo tipo ed allo smaltimento dei relativi rifiuti, anche per il futuro sarebbe oltremodo opportuno rinunciare a questo genere di materiali da costruzione.

Nel caso della tipologia costruttiva a telai in legno, secondo una prima stima, sotto il profilo ecologico va data la preferenza all'impiego di materiali termoisolanti in EPS in luogo di quelli finora prevalentemente impiegati a base di lana di roccia, a causa del maggiore impatto che la produzione di quest'ultima comporta.

Riguardo a questo tema sarebbe oltremodo utile un opuscolo informativo o un'apposita attività di consulenza da parte dell'Agenzia CasaClima.

Le tipologie costruttive leggera e massiccia sono basate su materiali da costruzione molto diversi e che dipendono anche da specificità locali. Ad esempio il legno è un materiale edile non sempre utilizzato in Italia in modo adeguatamente esteso.

Importante è in ogni caso rinunciare a un mix di materiali, e ciò vale anche per la tipologia costruttiva leggera. Solo così è possibile predisporre, già nel cantiere di demolizione, delle frazioni di materiali abbastanza omogenee, che sono la condizione indispensabile per poter ottenere, dal loro trattamento, dei prodotti riciclati di qualità. Per la tipologia costruttiva a telai in legno è consigliabile l'impiego di materiali da costruzione in legno o altri materiali naturali.

Nella consulenza relativa agli impianti solari termici si deve rivolgere l'attenzione non solo all'efficienza energetica, ma anche alla possibilità di riparazione, di riutilizzo e quindi di durata dei prodotti.

Schede tecniche degli edifici

La demolizione selettiva è in tutti i casi imprescindibile. In relazione alla tipologia costruttiva ed ai materiali da costruzione impiegati l'impresa di demolizione dovrà predisporre innanzitutto un progetto in base al quale procedere nella demolizione vera e propria dell'edificio. Di regola tale concetto viene predisposto a seguito di sopralluoghi e sulla base di dati empirici in possesso dell'impresa.

Con un semplice sopralluogo non è possibile individuare tutte le condizioni determinanti ai fini della possibilità di operare una demolizione selettiva e un riciclaggio della maggior percentuale possibile di materiali. È perciò opportuno che alle richieste di autorizzazione alla demolizione presso gli enti competenti siano allegate delle schede tecniche abbastanza semplici, in cui siano elencati i materiali impiegati per l'edificio e il luogo dell'intervento. Queste informazioni potranno poi essere eventualmente raccolte in un ufficio centrale provinciale, ad es. presso

l'Agenzia CasaClima. Le schede tecniche dell'edificio potrebbero ad esempio contenere i seguenti dati caratteristici:

Tipologia costruttiva classica in sistema termoisolante a cappotto

	Diametro/spessore	Nome prodotto
Materiali da costruzione pareti esterne		
Materiali da costruzione pareti interne		
Materiali termoisolanti		

Tipologia costruttiva leggera/ intelaiatura in legno

Struttura parete esterna	Spessore parete	
	Materiale isolante per tamponamento	
	Materiale rivestimento esterno	
	Materiale rivestimento interno	
Struttura parete interna	Spessore parete	
	Materiale isolante per tamponamento	
	Materiale rivestimento esterno	
	Materiale rivestimento interno	

Per le case prefabbricate possono essere eventualmente indicati anche il produttore, il tipo/nome del prodotto e le dimensioni.

Allegato A: Spiegazioni delle categorie di fattori di impatto

Gli indicatori di impatto considerati in questo studio sono stati di seguito suddivisi secondo categorie di impatto ambientale e i relativi fattori caratteristici sono stati quantificati in cifre citando il relativo metodo originale di riferimento. La norma per il calcolo degli indicatori risultanti è riportata alla fine di ogni paragrafo nell'ambito del capitolo relativo alle singole categorie di impatto ambientale.

A 1.Cambiamento del clima

La categoria di impatto ambientale del cambiamento del clima rappresenta l'effetto negativo sull'ambiente causato dal riscaldamento antropogeno dell'atmosfera terrestre ed è stato già ampiamente descritto in alcune referenze [IPCC 1995]. L'indicatore finora più utilizzato nei bilanci ecologici è il potenziale di irradiazione (radiative forcing) [CML 1992, Klöpffer 1995a], espresso in CO₂-equivalente. Il metodo di caratterizzazione si considera universalmente noto.

l'Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) rappresenta inoltre un comitato scientifico internazionale che stabilisce i metodi calcolando ed aggiornando i relativi parametri per ciascuna sostanza avente effetto sul clima. I rapporti redatti dall'IPCC rappresentano la base scientifica per ogni nuova strumentalizzazione dell'effetto serra.

Nel calcolo della CO₂-equivalente si tiene conto del tempo di permanenza dei gas nella troposfera, perciò si pone la domanda di quale tempo di permanenza debba essere preso in considerazione nel calcolo del modello climatico ai fini del bilancio ecologico. Esistono modelli per 20, 100 e 500 anni. I calcoli di modello per 20 anni si fondano sulla base di previsione più sicura. Il Centre of Environmental Science der Leiden University (CML) consiglia, analogamente all' Umweltbundesamt, il modello su base centennale, in quanto rispecchia al meglio gli effetti a lungo termine dell'effetto serra. L'impiego del modello su base di 500 anni, invece, è sconsigliato a causa delle incertezze che aumentano quanto più aumenta il periodo di tempo considerato [CML 2002]. Conformemente a queste raccomandazioni nel presente studio si è utilizzato il modello su base centennale.

Di seguito sono elencate le sostanze considerate nei calcoli del potenziale effetto serra con relativi valori di CO₂-equivalenza – espressi come „Global Warming Potential (GWP):

Tabella A-1: Potenziale serra delle sostanze inquinanti considerate nel presente studio; valori CO₂-equivalenti su base centennale

Gas serra	CO ₂ -equivalente (GWP _i)
Anidride carbonica(CO ₂), fossile	1
Metano (CH ₄), fossile ²	27,75
Metano (CH ₄), rinnovabile	25
Ossido di diazoto (N ₂ O)	298
Tetraclorometano	1.400
Tetrafluorometano	7.390
Esafluoroetano	12.200
Halon 1301	7.140
R22	1810
Tricloreetano	146
Esafluoruro di zolfo (SF ₆)	22.800
Fonte: [IPCC 2007]	

Secondo IPCC si devono considerare molti altri gas per il calcolo del GWP; questi tuttavia non sono compresi nella tabella A-1 in quanto non fanno parte dei dati di inventario di questo bilancio ecologico.

Il contributo all'effetto serra è calcolato come sommatoria dei prodotti delle quantità calcolate delle singole sostanze nocive ai fini dell'effetto serra (m_i) per i relativi GWP (GWP_i) in base alla seguente formula:

$$GWP = \sum_i (m_i \times GWP_i)$$

Va tenuto presente che:

tra gli esperti di bilanci ecologici vengono impiegati due metodi di simulazione e di calcolo dell'effetto serra basato sulla CO₂ in relazione al carbonio biogeno, ai fini della valutazione degli effetti. Essi sono

- Il metodo „assorbimento di carbonio“: l'assorbimento di CO₂ non fossile viene considerato nel modello come GWP negativo nella fase di crescita delle piante e il carbonio non fossile nella emissione viene calcolato come GWP positivo.
- Il metodo „carbonio-neutrale“: l'assorbimento di CO₂ non fossile viene trascurato nell'effetto serra allo stesso modo della sua emissione come CO₂ non fossile.

²In conformità a IPCC (2007) gli effetti indiretti quali l'ossidazione di CH₄ in CO₂ non sono stati considerati nei potenziali serra riportati nel rapporto IPCC. Perciò è stato calcolato in aggiunta un CO₂-equivalente per molecola di CH₄.

Nel presente studio si è applicato il metodo b). Tuttavia a livello dei dati di inventario l'assorbimento di CO₂ NON è stato trascurato, ma è stata considerata la fissazione della CO₂ in materiali biogeni (ad es. crescita di alberi) come quantità asportata dall'atmosfera, mentre la sua emissione (ad es. trattamento termico di cartone) è stata calcolata come emissione di CO₂ aggiuntiva.

Le emissioni di metano da parte di materiali biogeni (ad es. in discariche) sono state sempre considerate a livello di dati di inventario E come GWP.

A 2. Eutrofizzazione terrestre

L'eutrofizzazione terrestre corrisponde ad un eccesso di apporto di sostanze nutritive per il suolo. A tale riguardo si è ipotizzato, per semplicità, che tutte le sostanze nutritive emesse verso l'atmosfera rappresentino un eccesso di concimazione del suolo.

Per il calcolo dell'apporto indesiderato di sostanze nutritive si è scelto l'indicatore "potenziale di eutrofizzazione", esprimendolo nell'unità di misura fosfato-equivalente [CML 1992, Klöpffer 1995a]. Di seguito sono riportate diverse sostanze nocive ovvero nutritive considerate nel presente progetto con i relativi fattori caratteristici:

Tabella A-3: Potenziale di eutrofizzazione delle sostanze inquinanti considerate nel presente studio

Inquinante	PO ₄ ³⁻ -equivalente (NP _i) in kg PO ₄ ³⁻ -equiv/kg
Potenziale di eutrofizzazione (suolo)	
Ossidi di azoto (NO _x come NO ₂)	0,13
Biossido di azoto (NO ₂)	0,13
Monossido di azoto (NO)	0,13
Ossido di diazoto (gas esilarante) (N ₂ O)	0,27
Ammoniaca (NH ₃)	0,35
Fonte: [Heijungs et al 1992] in [CML dic. 2007]	

Per l'apporto di sostanze nutritive nel suolo il contributo al potenziale di eutrofizzazione è calcolato come sommatoria dei prodotti delle quantità calcolate delle singole sostanze nocive (m_i) per i relativi NP in base alla seguente formula

eutrofizzazione del suolo:

$$NP = \sum_i (m_i \times NP_i)$$

A 3. Acidificazione

L'acidificazione può verificarsi sia in sistemi terrestri che acquatici. Responsabili dell'acidificazione sono le emissioni di sostanze acidificanti.

L'indicatore scelto "potenziale di acidificazione", descritto in [CML 1992, Klöpffer 1995a], è sembrato essere adeguato allo scopo. Infatti in tal modo non sono necessarie specifiche caratteristiche dei sistemi terrestri e acquatici interessati. La valutazione del potenziale di acidifica-

zione è effettuata generalmente nell'unità di misura di SO₂-equivalente. Di seguito sono elencate le sostanze nocive considerate nel presente studio con i relativi potenziali di acidificazione (in inglese „Acidification Potential (AP)“), in forma di SO₂-equivalente:

Tabella A-4: Potenziale acidificazione delle sostanze inquinanti considerate nell'ambito del presente studio

Inquinante	SO ₂ -equivalente (AP _i)
Biossido di azoto (SO ₂)	1
Triossido di azoto (SO ₃)	0,8
Ossidi di azoto (SO _x come SO ₂)	1
Idrogeno solforato (H ₂ S)	1,88
Acido solforico (H ₂ SO ₄)	0,65
Solfuro di carbonio (CS ₂)	1,68
TRS (Total Reduced Sulphur), come S	2,0
Biossido di azoto (NO ₂)	0,7
Monossido di azoto (NO)	1,07
Ossidi di azoto (NO _x come NO ₂)	0,7
Acido cloridrico (HCl)	0,88
Acido fluoridrico (HF)	1,6
Acido cianidrico (HCN)	1,6*
Acido nitrico (HNO ₃)	0,51
Acido fosforico (H ₃ PO ₄)	0,98
Etantiolo/EtilmeGSaptano	1,03
MeGSaptani	0,84**
Ammoniaca (NH ₃)	1,88

Fonte: [Hauschild und Wenzel 1998] in [CML Dic. 2007], [Klöppfer 1995b]:
 *Valore teorico come HF; **Valore teorico Propantiolo, derivato stechiometricamente

Il contributo al potenziale di acidificazione è calcolato come sommatoria dei prodotti delle quantità calcolate delle singole sostanze nocive (m_i) per i relativi AP in base alla seguente formula:

$$AP = \sum_i (m_i \times AP_i)$$

A 4.Danni tossici per l'uomo a causa delle polveri sottili (PM 10)

Nella definizione di polveri sottili (PM 10) sono comprese particelle primarie e sostanze precursori di particelle secondarie. Nel presente studio le polveri sottili sono state determinate basandosi su un metodo sviluppato dall'Agenzia Europea per l'ambiente (European Environment Agency, EEA).

Studi epidemiologici hanno dimostrato una correlazione tra l'esposizione alle particelle e l'indice di mortalità a causa di malattie delle vie respiratorie nonché di indebolimento del sistema immunitario. L'effetto maggiore è risultato quello delle particelle più fini con diametro <10 µm e in particolare con diametro <2,5 µm (definite brevemente PM10 risp. PM2,5). Tali particelle non possono essere assorbite con meccanismi di protezione meccanici e perciò penetrano in profondità

nei polmoni provocando seri danni. Le polveri sottili possono essere prodotte da emissioni e diversi meccanismi: da un lato vengono emesse particelle di carbonio direttamente nei processi di combustione (particelle primarie), dall'altro lato le particelle vengono formate in processi chimici da sostanze precursori quali ossidi di azoto, ossidi di zolfo, ammoniaca (NH_3) e NMVOC (particelle secondarie).

Come indicatore della categoria „Danni tossici per l'uomo a causa delle polveri sottili (PM 10)“ è stata scelta la quantità assoluta di particelle di polvere e di particelle secondarie aventi un diametro aerodinamico $<10 \mu\text{m}$ (PM10), misurate in kg di PM10-equivalenti. Per quantificare i composti precursori di particelle secondarie (ad es. SO_x , NO_x und NH_3) si sono utilizzati i fattori caratteristici calcolati dall'Agenzia Europea per l'ambiente [Leeuw 2002] (vedi tabella seguente). Tali fattori sono considerati rappresentativi delle condizioni vigenti in Europa. Per le NMVOC l'attribuzione è difficile e richiede la conoscenza dei singoli composti. Nel presente studio è stato assunto il valore medio del potenziale PM10 calcolato da [Heldstab et al. 2003] per le emissioni di NMVOC in Svizzera, che ammonta a 0,012. Nessuna delle due fonti citate fornisce dati riguardo alle quantità del particolato Diesel. Si è quindi assunto in via cautelativa che tale particolato Diesel sia totalmente costituito dalla frazione di polveri di diametro $<10 \mu\text{m}$ classificandolo quindi con il fattore 1.

Tabella A-8: Potenziale di rischio PM10 di alcuni inquinanti dell'aria

Particelle PM10 e sostanze precursori	PM10-equivalenti in kg PM10-eq./kg
Particelle PM10	1
Particelle da emissioni Diesel	1**
Generatori secondari di aerosol	
NO_2	0,88
NO	0,88
NO_x als NO_2	0,88
SO_2	0,54
SO_x als SO_2	0,54
NH_3	0,64
NMVOC (non specificati, idrocarburi e da emissioni Diesel)	0,012*

Fonte: [Leeuw 2002]; *[Heldstab et al. 2003], ** valore teorico IFEU

Il contributo al potenziale è calcolato come sommatoria dei prodotti delle quantità calcolate delle singole sostanze nocive (m_i) per i relativi potenziali PM10 in base alla seguente formula:

$$PM10 = \sum_i (m_i \times PM10_i)$$

A 5. Elenco delle fonti

- [CML 1992]: Environmental life cycle assessment of products, Guide and backgrounds, Center of Environmental Science (CML), Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO), Fuels and Raw Materials Bureau (B&G), Leiden, 1992.
- [CML et al. 2002]: Guinée, J.B. (Ed.) - Centre of Environmental Science - Leiden University (CML), de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M., Lindeijer, E., Roorda, A., van der Ven, B., Weidema, B.: Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards. Eco-Efficiency in Industry and Science Vol. 7. Kluwer Academic Publishers, Netherlands 2002.
- [Heldstab 2003] Heldstab, J. et al.: Modelling of PM10 and PM2.5 ambient concentrations in Switzerland 2000 and 2010. Environmental Documentation No.169. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape SAEFL. Bern, Switzerland, 2003.
- [IPCC 1995]: IPCC (Publisher): Intergovernmental panel on the climatic change. Climatic Change, Report to the United Nations 1996, New York (USA) 1995.
- [Klopffer 1995a]: Methodik der Wirkungsbilanz im Rahmen von Produkt-Bilancio ecologico unter Berücksichtigung nicht oder nur schwer quantifizierbarer Umwelt-Kategorien, UBA-Texte 23/95, Berlin, 1995.
- [Leeuw 2002]: Leeuw, F.D.: A set of emission indicators for long-range transboundary air pollution, Bilthoven 2002.

Bibliografia

ATLASOLE 2012:

<http://atlasole.gse.it/atlasole/ListalImpianti.aspx?regione=004&provincia=021&comune=&minpotenza=0&maxpotenza=&classe=0>

AEPB2010: Ufficio per il risparmio energetico della Provincia di Bolzano, I nuovi criteri per l'incentivo energetico – sintesi, Bolzano aprile 2010

BISOTHERM2012: Firma Bisotherm GmbH; Mülheim-Kärlich, 2012, <http://www.bisotherm.de>

BAUNETZ2012: BauNetz Media GmbH; Berlin, 2012, www.baunetz.de

BMVBS 2012: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin 2012, <http://www.nachhaltigesbauen.de/materiale> edile-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html

BTU 2010: Brandenburgische Technische Universität Cottbus; Ökologische Prozessbetrachtungen – GS Beton (Stofffluss, Energieaufwand, Emissionen), November 2010

BV Porenbeton 2011: Bundesverband Porenbetonindustrie e.V., Berlin, 2011

ENERGIESPARHAUS 2012: Energiesparhaus Agentur, Zaubertal Österreich 2012, <http://www.energiesparhaus.at/denkwerkstatt/uwert.htm>

ENERGLOBE 2012:<http://www.energoclub.org/news/dove-finisce-il-mio-impianto-fv-fine-vita>

FH-HILDESHEIM 2009: Fachhochschule Hildesheim/Baukonstruktion und Bauphysik in der Fakultät Bauwesen, 2009

GSE 2009: Solare fotovoltaico – Rapporto statistico 2009

GSE 2010: Solare fotovoltaico – Rapporto statistico 2010

HAHNE 2010: Hahne, A. und Hirn, G., Recycling von Photovoltaik-Modulen. BINE Informationsdienst. Projektinfo 02/10

HELLMANN2010 Hellmann und Kummer, Resolar – Entwicklung eines europaweiten Rücknahmesystems für Moduli solari. Forschungsprojekt. DBU

IPEG 2012: Institut für preisoptimierte energetische Gebäudemodernisierung GmbH, Paderborn 2012, <http://www.ipeg-institut.de>

IBU: Institut Bauen und Umwelt e.V.: Umwelt-Deklarationen (EPD), <http://bau-umwelt.de/hp1/Startseite.htm>, Zugriff im Juni 2012

IZT 2009: Volker Handke, u. a. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung „Umweltstandards für thermische Solarkollektoren unter besonderer Berücksichtigung der selektiven Beschichtung ihrer Absorberoberflächen“, Juli 2009

- Jungbluth 2007 Jungbluth, N. 2007: „Sonnenkollektor-Anlagen.“ In Dones, R. (Ed.) et al., Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Bilanzio ecologicoen für die Schweiz. ecoinventreportNo. 6-XI, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH
- KÖNIGSTEIN 2007: Königstein T.: Ratgeber energiesparendes Bauen, 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart
- KLB 2012: Klimaleichtblock GmbH, Andernach, 2012, <http://www.klb-klimaleichtblock.de>
- KLIMALAND 2012: <http://www.klimaland.bz.it/abfall/abfallerzeugung-suedtirol/>
- KUMMER 2012: Kummer, B., Umsetzung der REACH- und GHS-Verpflichtungen in der Recyclingwirtschaft, Müll und Abfall, 4/12.
- LfU 2003: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Photovoltaik- und Solarthermieanlagen. Aufbau, Verwendung, Verwertung und Smaltimento, Augsburg 2003
- ÖKOBAU.DAT: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Datenbank „ökobau.dat“; http://www.nachhaltigesbauen.de/materiale_edile-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html; Zugriff im Juni 2012
- ÖKOPOL 2004: Ökopool, Institut für Ökologie und Politik GmbH Hamburg und IE, Institut für Energetik und Umwelt GmbH, Leipzig (2004): Stoffbezogene Anforderungen an Photovoltaik-Produkte und deren Smaltimento; Hamburg, Leipzig.
- PETIT, E. 1997: Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Naßtrattamento von Materiale di demolizione. Aachener Beiträge zur Angewandten Rechnerntechnik, Bd. 22, 1997
- PIXELIO 2012 Abb. 15: 339490_R_K_B_by_Christoph-Aron,
Abb. 25: 299179_original_R_by_Michael Struppek,
Internetzugriff: www.pixelio.de
- QUASCHNING 2012: Erneuerbare-Energien-und-Klimaschutz.de - <http://www.volker-quaschning.de/datserv/pv-welt/index.php>)
- RATGEBERZENTRALE 2012R-G-Z RatGeberZentrale GmbH, Reichenberg, 2012, www.ratgeberzentrale.de
- SANDER 2007: Sander, K. et.al., Studie zur Entwicklung eines Rücknahme- und Verwertungssystem für Photovoltaische Produkte; BMU, 03MAP092
- SOMMER 2011: Sommer, A.: Passivhäuser : Planung - Konstruktion - Details - Beispiele. Müller. Köln
- SPIEGEL 2012: (<http://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/solarfirma-first-solar-streicht-2000-jobs-a-828104.html>)
- SCHLAGMANN 2012: Firma SCHLAGMANN MATERIALE EDILEWERKE GMBH + CO KG 2012, <http://www.schlagmann.de/>
- SCHLENK 2012: Carl Schlenk AG, Roth 2012, <http://www.schlenk.com>

SCANHAUS 2012: ScanHausMarlow GmbH, Marlow 2012, <http://www.scanhaus.de>

VZS 2012: Verbraucherzentrale Alto Adige, Bozen Juni 2012,
<http://www.consumer.bz.it/faq.php?lang=de&mode=view&ID=38&IBa>

WAMBACH 2003: Wambach, K., The photovoltaic industry EPR for new energy systems.
Sunicon. Germany