

SVILUPPO DEL LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) PER LA GESTIONE DELLA SOSTENIBILITA' AMBIENTALE



Valutazione ambientale con il metodo LCA del sistema di tessere integrate di vetro fotovoltaico per applicazioni architettoniche innovative TIFAIN

Carol Monticelli, Paolo Neri, Prisca Cardani Morando
Alessandra Zanelli, Anna Maria Ferrari

Dip. Architecture, Built Environment and Construction Engineering, Politecnico di Milano
LCA Working Group – Dip. Scienze e Metodi dell'Ingegneria, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia



Intro e Obiettivi

ARCHITETTURA FOTOVOLTAICA e VALUTAZIONE AMBIENTALE

OBIETTIVO del LAVORO

- Rapporto tra produzione energetica fotovoltaica e architettura (integrazione)
- Valutazione ambientale con metodo LCA di un sistema di tessere fotovoltaiche integrate

OBIETTIVO LCA

Applicazione della metodologia LCA ad un prodotto specifico (oggetto di un progetto ricerca) già in fase sperimentale, al fine di affiancare la ricerca e condurla verso l'ottimizzazione dei processi.

Intro e Obiettivi

prima e seconda generazione

Fotovoltaico Tradizionale

- ✓ Ampia diffusione
- ✓ Elevata efficienza
- ✗ Elevati costi di produzione
- ✗ Difficoltà di applicazione
- ✗ Smaltimento

5.400 ~ 6.900 MJ/m²

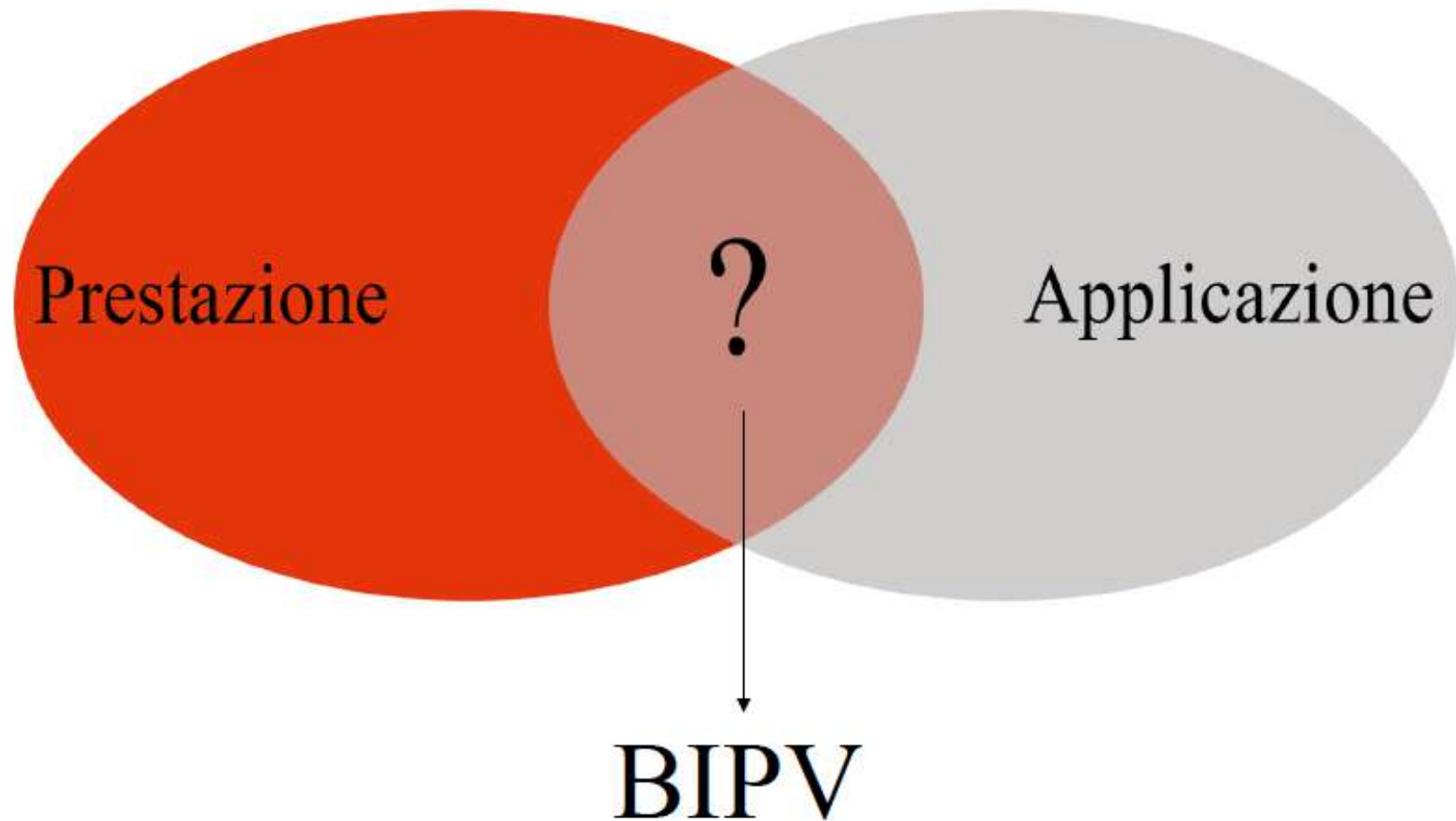
terza generazione

Fotovoltaico Organico

- ✓ Bassi costi di produzione
- ✓ Trasparenza
- ✓ Ampia capacità di captazione
- ✓ Libertà di applicazione
- ✓ Smaltimento
- ✗ Bassa efficienza

2.800 MJ/m²

Eco-efficienza di facciate in vetro fotovoltaico



Eco-efficienza di facciate in vetro fotovoltaico

BIPV = Building Integrated Photo-Voltaic

funzione impiantistica + funzione architettonica



Cosa succede in facciata?

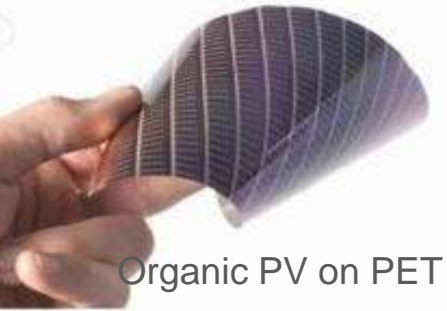
BIPV – building integrated Photo Voltaic



NON integrazione



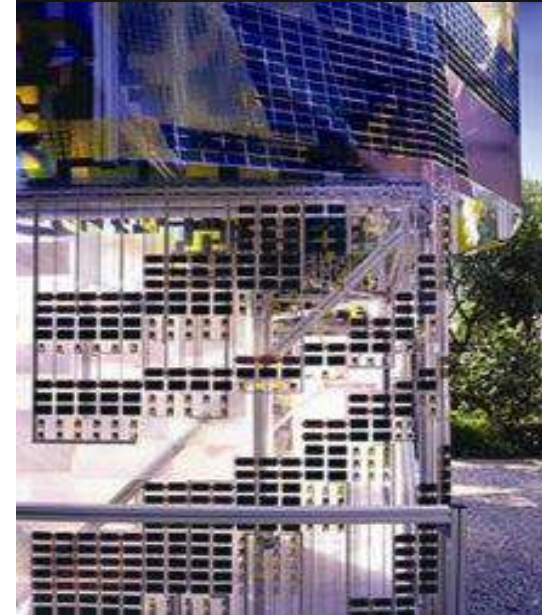
BIPV – building integrated Photo Voltaic



Organic PV on PET

Kieran Timberlake Associates,
Smart Wrap Building, New York, 2003 (Fonte: DuPont)

PV (photovoltaic cells) film
+
OLED (organic light- emitting diode)
+
PCM (phase change material) textile



Integrazione BIPV



IAA Solar Sail SMART, 2011

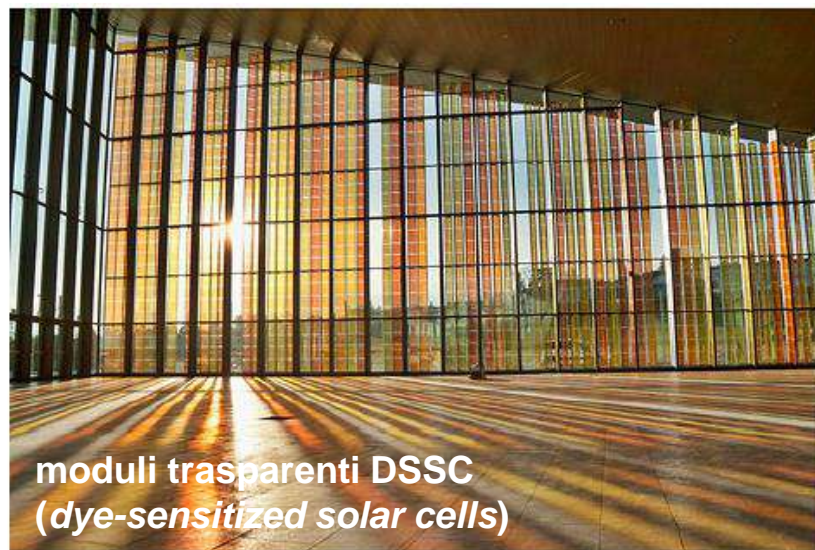
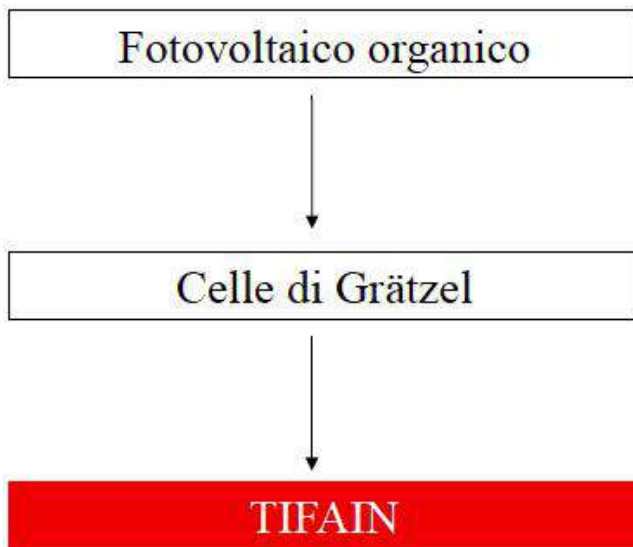


Intersolar Munich, 2010



InterSOLAR Solar Sail for Lapp Group, 2011

Il nuovo sistema di facciata in vetro PV



Tessere Integrate di vetro Fotovoltaico per Applicazioni architettoniche INnovative

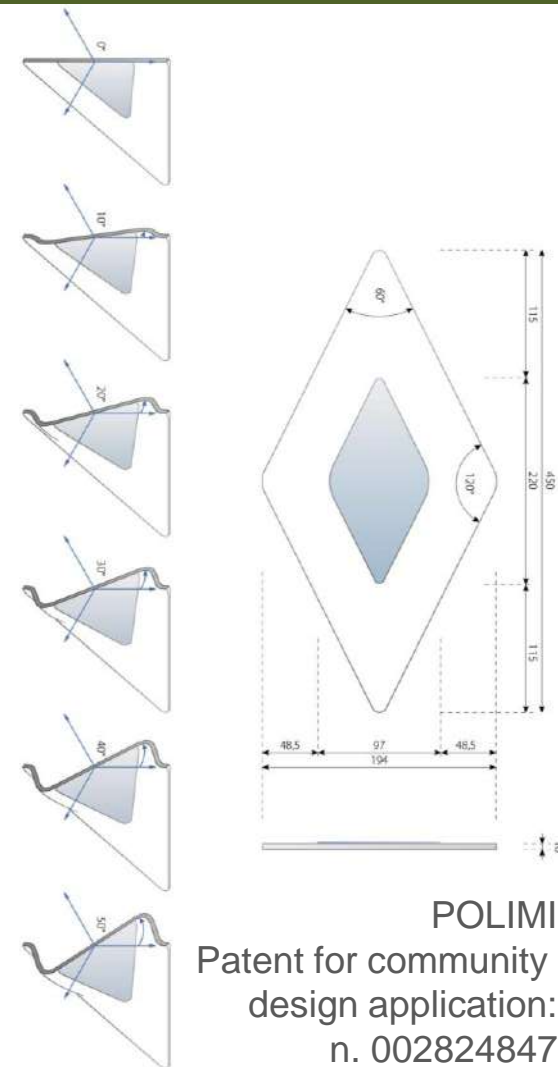
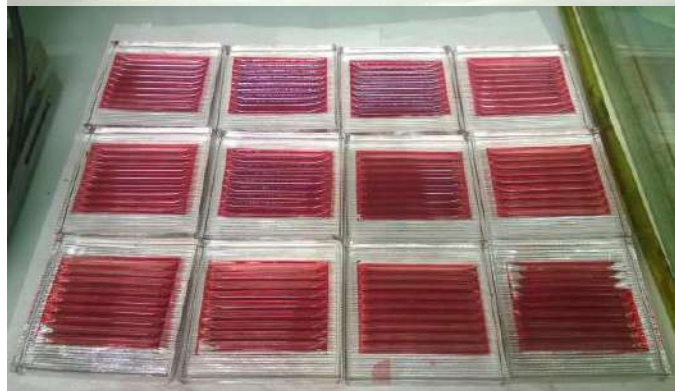
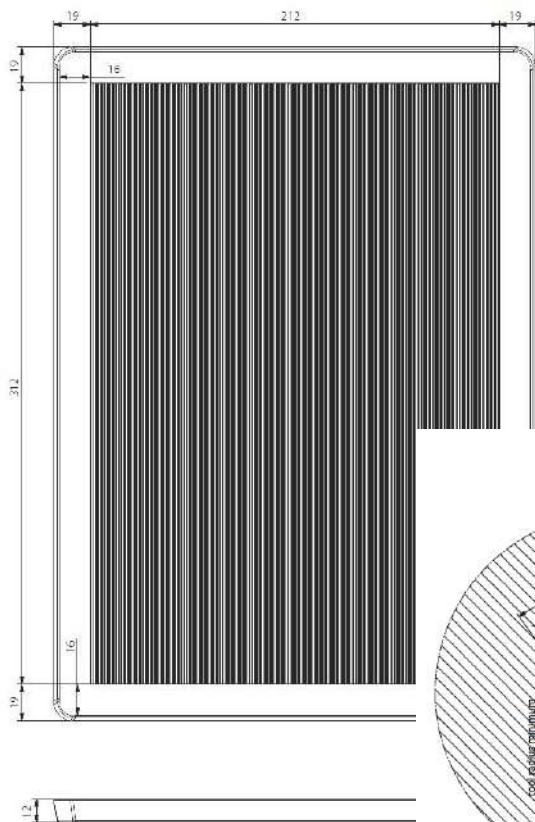
- ✓ Produzione economica: materiali disponibili, processi semplici
- ✓ Gradevolezza estetica: trasparenza, colore
- ✓ Modularità: geometria e dimensioni variabili



Il nuovo sistema di facciata in vetro PV

Singularità delle piastrelle del nuovo sistema: geometria del fotoanodo

- non è costituito da un semplice vetro piano float
- ma da un vetro stampato, a sezione variabile

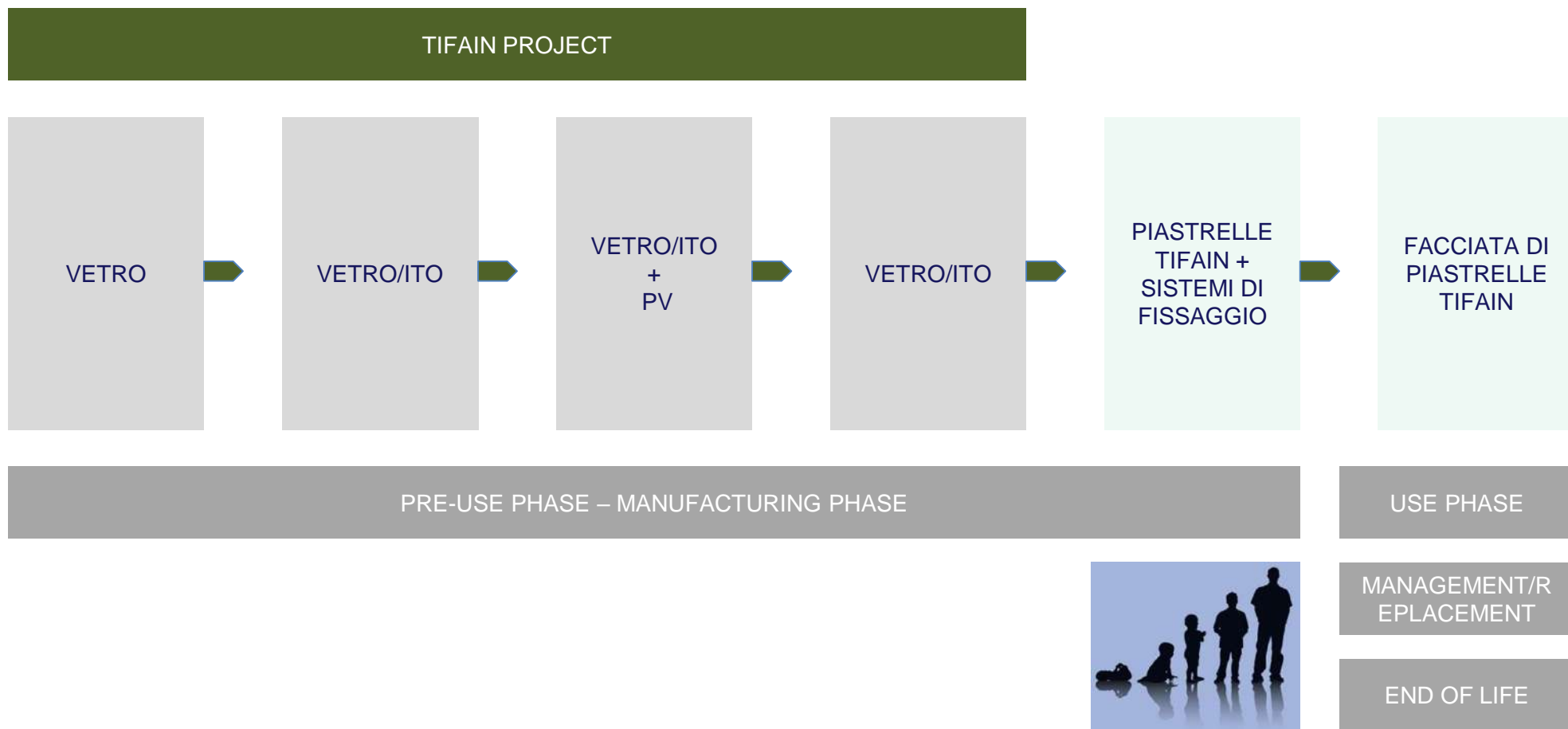


POLIMI
Patent for community
design application:
n. 002824847

Patent for industrial invention:
n. 102015000061983

Il nuovo sistema di facciata in vetro PV

Schema di fabbricazione di una cella con piastrella TIFAIN 2 (10x10) cm



LCA comparativa di nuove facciate in tessere di vetro fotovoltaiche

Obiettivo: V1_ valutazione del profilo ambientale della piastrina PV

V2_ valutazione del profilo ambientale di tre sistemi di facciata con piastrelle PV

Funzione del sistema: generazione di energia elettrica mediante tecnologia fotovoltaica organica con integrazione delle celle nell'involucro edilizio.

Sistema: processo produttivo e scenario di smaltimento con minore impatto ambientale. Durante la fase d'uso il sistema è agevolato perché non limitato dal posizionamento; l'applicazione è permessa anche sulle pareti verticali grazie anche alla trasparenza.

Unità Funzionale:

V1_ alla scala del componente: superficie di una singola piastrina 10x10cm².

V2_ alla scala del sistema di facciata: porzione 5x3m². *Durata utile* del sistema pari a 30 anni.

Confini del sistema: tutte le fasi di vita dei materiali che compongono il sistema, dalla produzione al fine vita attraverso la fase d'uso.

Qualità dei dati: si considera la banca dati Ecoinvent 3.1 nella versione Alloc Def U.

Il codice di calcolo utilizzato è SimaPro 8.04.

La valutazione del danno è eseguita con IMPACT 2002 (modificato dal gruppo di studio).

LCA comparativa di nuove facciate in tessere di vetro fotovoltaiche

FONTE DEI DATI



Relativi a processi di laboratorio
MIB Solar – Università Bicocca
Istituto Italiano di Tecnologia
Politecnico di Milano
Azienda produttrice vetro

METODO DI VALUTAZIONE



IMPACT 2002+

COSTANTI ASSUNTE



In tutti i processi sono stati considerati: impianto di aspirazione, filtro variabile in base al tipo di emissione, attrezzature (comprehensive di lavaggio), DPI, trasporti e smaltimenti.
Si è operato per eccesso.

LCA comparativa di nuove facciate in tessere di vetro fotovoltaiche

LCInventory data base: EcolInvent (Swiss database)

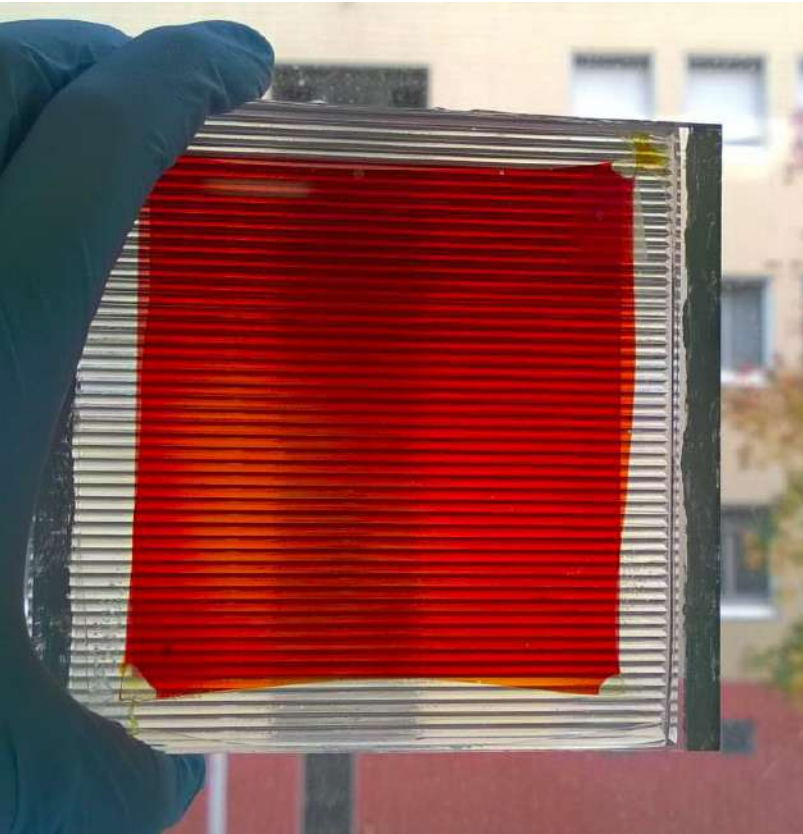
Software per la valutazione LCA: SimaPro 7.3.2 (Prè NL)

LCIA Analysis method: **IMPACT 2002+**

CATEGORIA DI IMPATTO	UNITA' DI MISURA	CATEGORIA DI DANNO	UNITA' DI MISURA
Carcinogens	kg C ₂ H ₃ Cl eq	Human Health	DALY
Non - carcinogens	kg C ₂ H ₃ Cl eq		
Respiratory inorganics	kg PM 2.5 eq		
Ionizing radiation	Bq C-14 eq		
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq		
Respiratory organics	kg CH ₃ eq		
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	Ecosystem Quality	PDF*m ² *yr
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil		
Terrestrial acid/nutri	kg SO ₂ eq		
Land occupation	m ² org.arable		
Aquatic acidification	kg SO ₂ eq		
Aquatic eutrophication	kg PO ₄ P-lim		
Global warming	kg CO ₂ eq	Climate Change	kc CO ₂ eq
Non-renewable energy	MJ primary	Resources	MJ
Mineral extraction	MJ surplus		

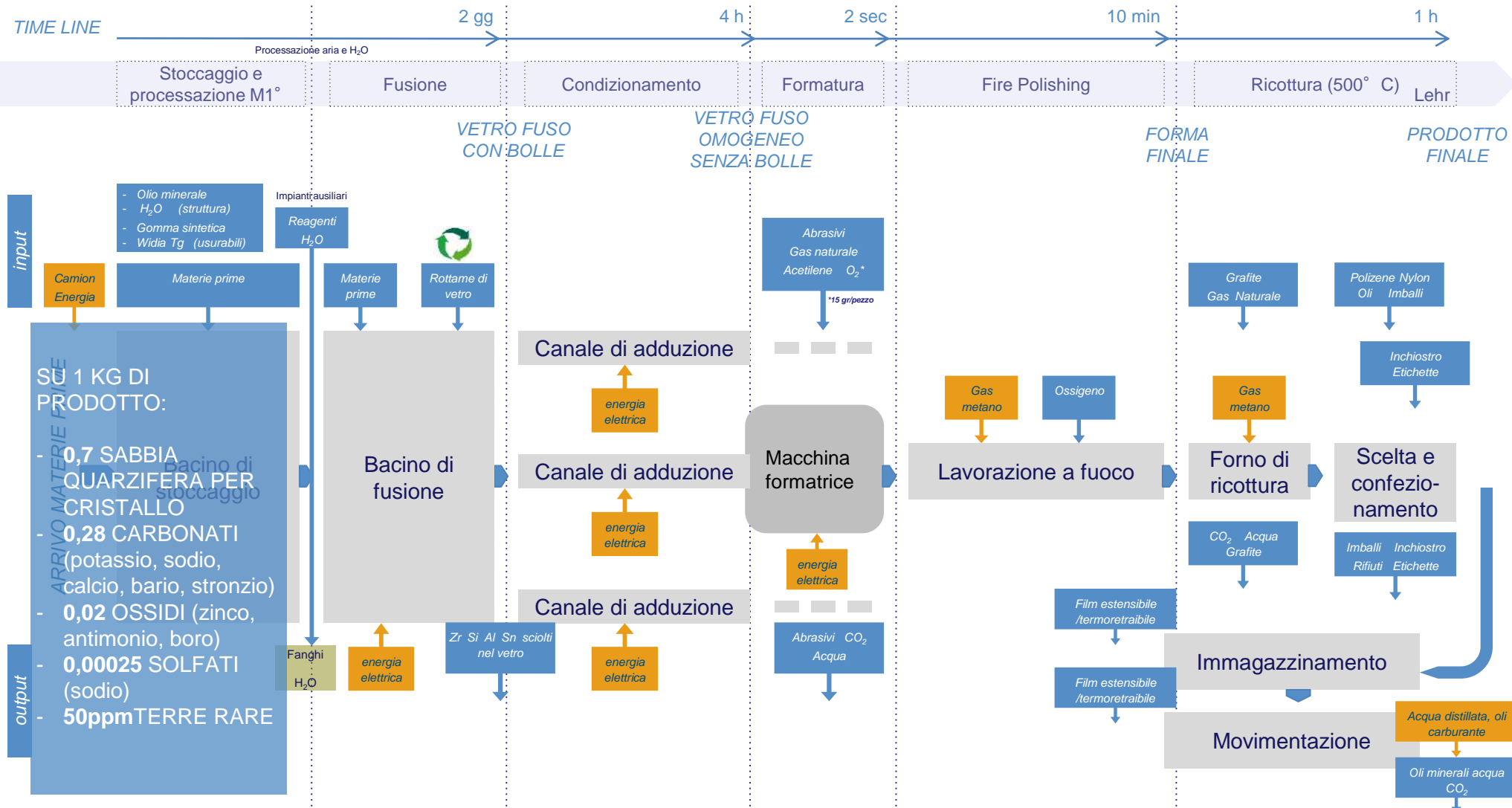
LCI – V1_Fase d'inventario alla scala del componente

Life Cycle Inventory della filiera di produzione della **piastrella di vetro**



LCI – V1_Fase d'inventario alla scala del componente

Schema funzionale processo produttivo delle piastrelle stampate in vetro



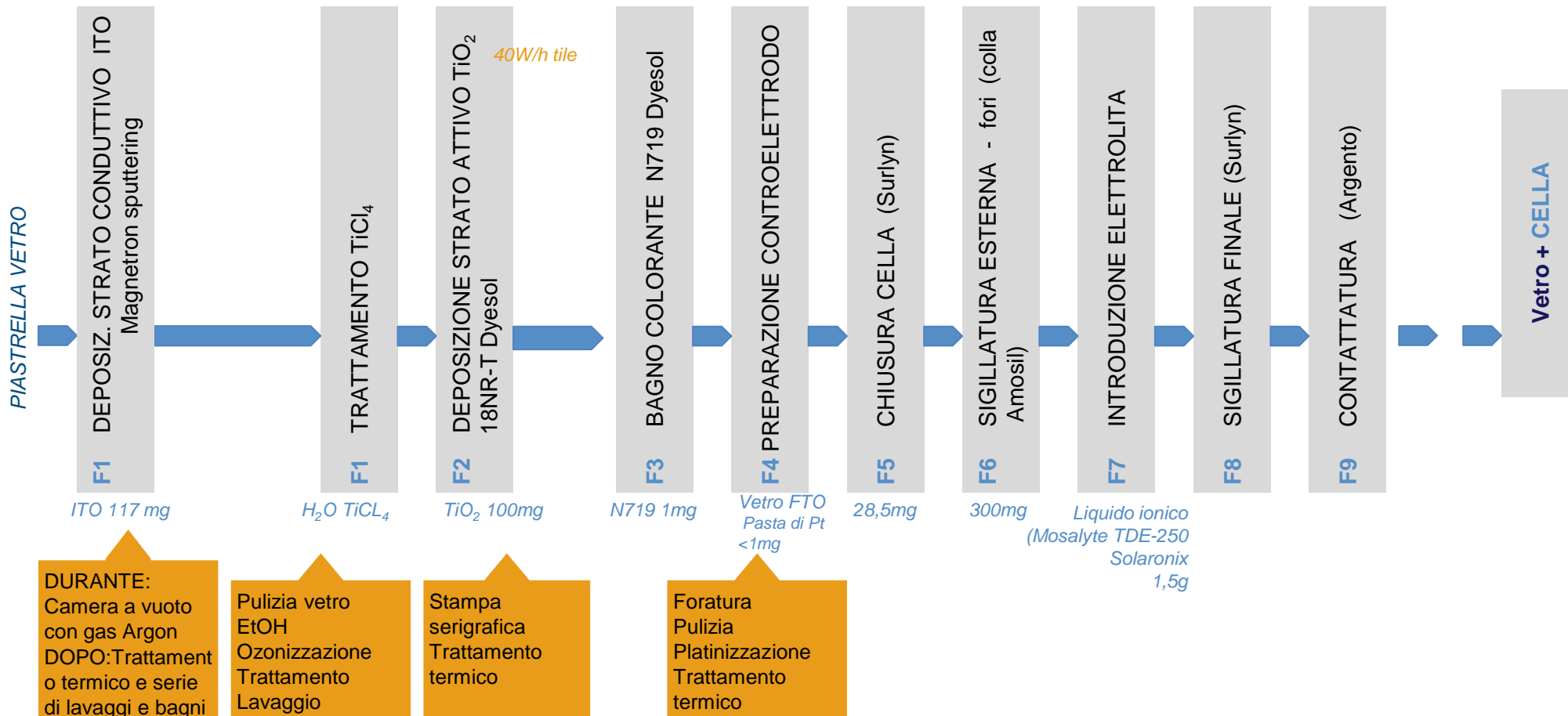
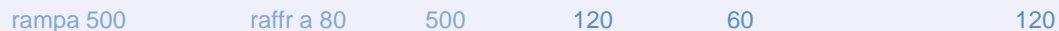
LCA – V1_Fase d'inventario alla scala del componente

Schema funzionale processo produttivo del fotovoltaico sul substrato di vetro

TIME LINE
TEMPI DI RIPOSO



TEMPERATURE ° C



LCI – V1_ alla scala del componente

Schema funzionale processo produttivo del **fotovoltaico** sul substrato di vetro

FASE	DESCRIZIONE	PROCESSI	MATERIALI	ATTREZZATURE
Produzione TIFAIN (elettrodo)	Produzione della piastrina attiva TIFAIN tramite formatura per stampaggio vetro e deposizione ossido conduttore trasparente (ITO)	Produzione vetro stampato Produzione ITO Deposizione ITO	Vetro In_2O_3 , SnO_2 ITO	Impianto di stampaggio Bacino di fusione Impianto di magnetron sputtering
Pulitura	Pulitura della piastrina dai residui di lavorazione	Lavaggio in Etanolo a temperatura ambiente Bagno in Tetracloruro di Titanio a 70°C Lavaggio in Etanolo a temperatura ambiente	EtOH al 99,7% TiCl_4 EtOH al 95%	Bacinelle, pinze per estrazione
Deposizione strato attivo	Deposizione strato attivo di TiO_2 tramite serigrafia in due passate (seguita ciascuna da mantenimento della piastrina in atmosfera di Etanolo per 5 minuti)	Produzione TiO_2 Applicazione TiO_2 Fissaggio TiO_2	Soluzione acquosa di TiO_2 all'1%, EtOH	Macchina serigrafica, camera con atmosfera di EtOH Piastra termica
Bagno nel colorante	Immersione per 20 ore della piastrina in soluzione di Etanolo e colorante N719	Produzione N719 Bagno	Ru , HCN , $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_4$, $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO})_2\text{O}$, H_2SO_4 , H_2O N719, EtOH	Bacinella, pinza per estrazione
Produzione contro elettrodo	Realizzazione del contro elettrodo tramite applicazione di strato catalizzatore su vetro float e sua foratura per successiva introduzione dell'elettrolita	Produzione vetro float Applicazione pasta di Platino Foratura	Vetro Pasta di Pt	Impianto di produzione vetro float Macchina serigrafica Microtrapano
Chiusura cella	Unione tramite incollaggio delle due parti e sigillatura dei bordi	Unione elettrodo e contro elettrodo Sigillatura bordi	Sigillante in film Colla	Termopressa Piastra termica
Introduzione elettrolita	Introduzione per iniezione della soluzione elettrolitica e sigillatura dei fori	Iniezione elettrolita Sigillatura fori	Soluzione elettrolitica Sigillante	Siringa Piastra termica
Contattatura	Realizzazione contatti elettrici	Realizzazione contatti in pasta di Argento	Pasta di Ag	Macchina serigrafica

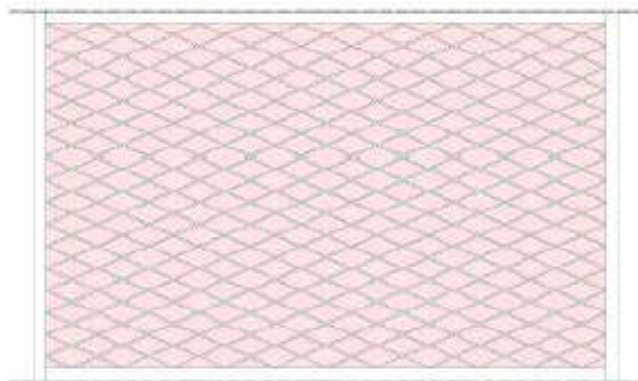
LCI – V2_ alla scala della facciata in piastrelle di vetro

Confronto morfo-tipologico delle soluzioni di facciata progettate

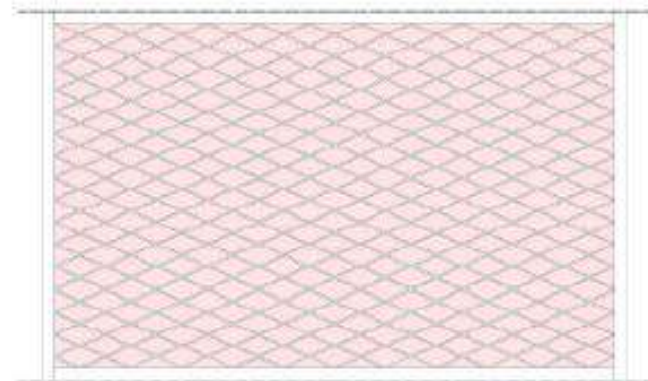
Tipo A



Tipo B



Tipo C



Leggerezza

Sicurezza

- 3 montanti tubolari in acciaio
- 1440 TIFAIN 10x10 su doghe di vetro stratificato
- Superficie attiva = $8,06 \text{ m}^2 = 53\%$

- 30 cavi in acciaio
- 350 TIFAIN a losanga tridimensionale su vetro stratificato
- Superficie attiva = $13,97 \text{ m}^2 = 93\%$

- 30 cavi in acciaio
- 350 TIFAIN a losanga tridimensionale
- Superficie attiva = $13,97 \text{ m}^2 = 93\%$

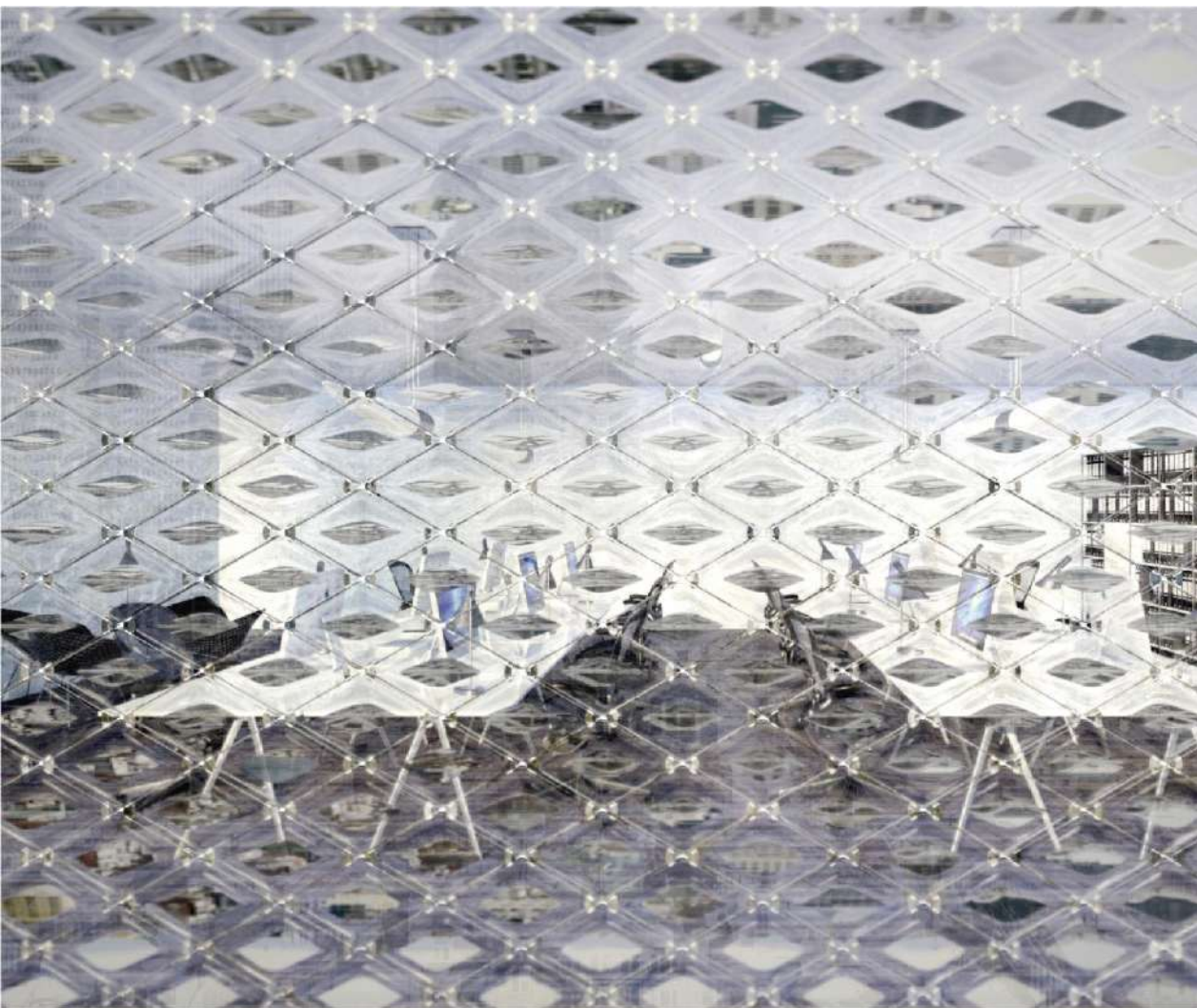
LCI – V2_ alla scala della facciata in piastrelle di vetro

Tipo A – nuove piastrelle su tecnologia di facciata SCHUCO



LCI – V2_ alla scala della facciata in piastrelle di vetro

Tipo B e C



POLIMI
Patent for community
design application:
n. 002824847

Patent for industrial
invention:
n. 102015000061983
(inventors N. Jakica,
A. Zanelli)



LCA – v1 Risultati alla scala del componente

Diagramma della valutazione per single score

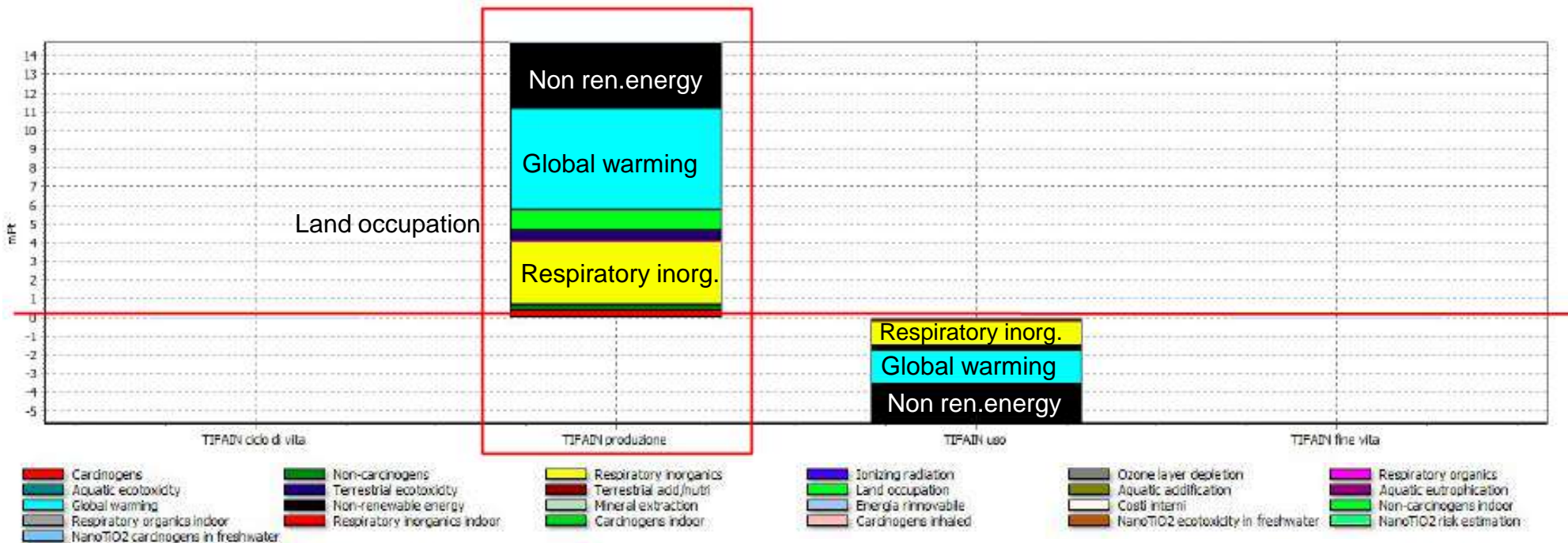
Area funzionale = 100 cm²

Durata di vita complessiva =
30 anni

Manutenzione = sostituzione sigillature ogni 10 anni

Fine vita = smaltimento in discarica

TIFAIN USO comprende l'energia prodotta durante la vita utile



danno totale = **8,99 mPt**

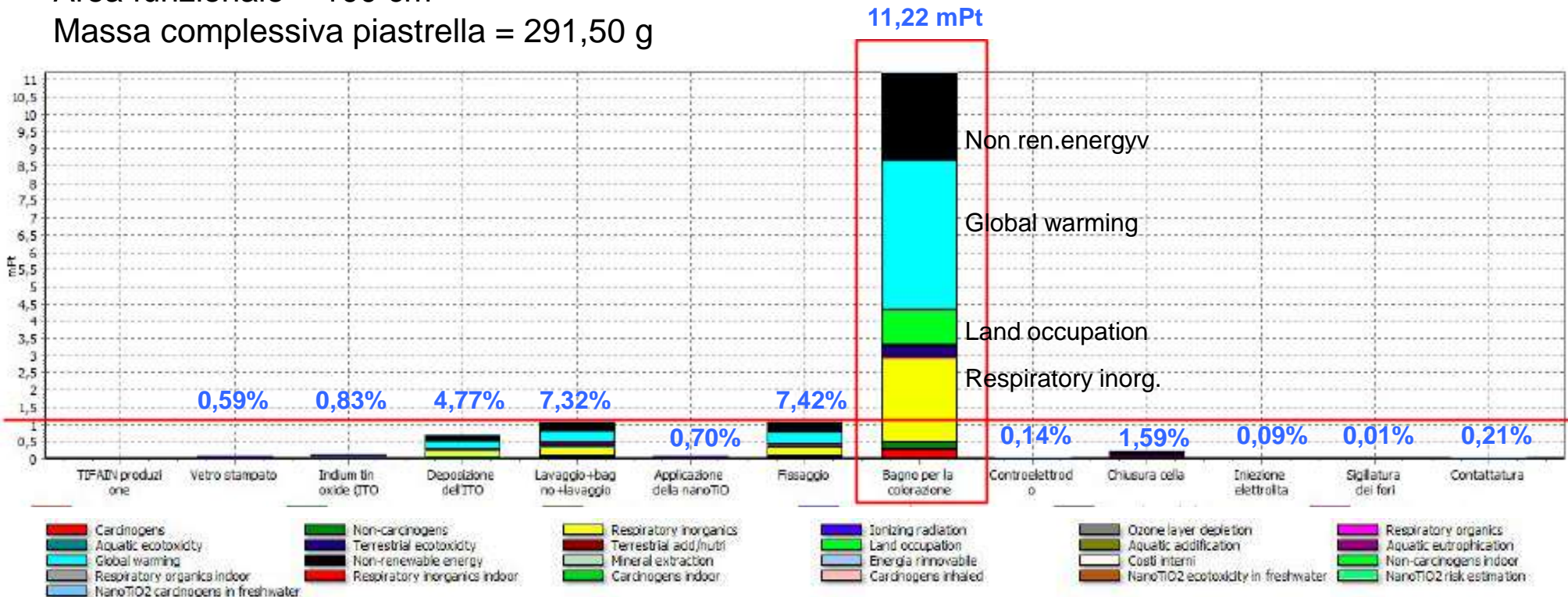
163,52 % = Produzione
- 63,63 % = Uso
0,11 % = Fine vita

LCA – v1 Risultati alla scala del componente

Fase di pre-uso, produzione della piastrina PV: diagramma della valutazione per single score

Area funzionale = 100 cm²

Massa complessiva piastrina = 291,50 g



danno totale = 14,696 mPt

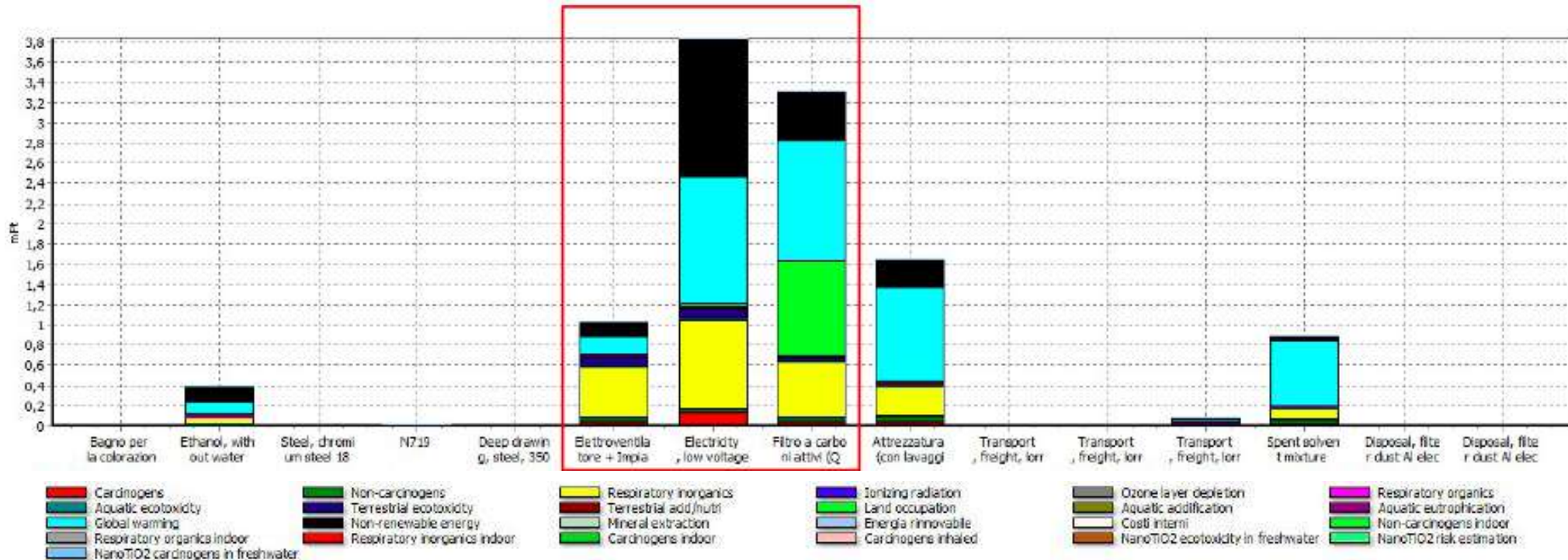
76,34 % = Bagno per la colorazione

LCA – v1 Risultati alla scala del componente

Fase relativa al bagno per la colorazione della piastrella PV: valutazione per single score

Area funzionale = 100 cm²

Massa complessiva piastrella = 291,50 g



damno totale = **11,22 mPt**

34,22 % = Energia elettrica
 29,50 % = Filtro
 9,27 % = Impianto

LCA – V1 Risultati alla scala del componente

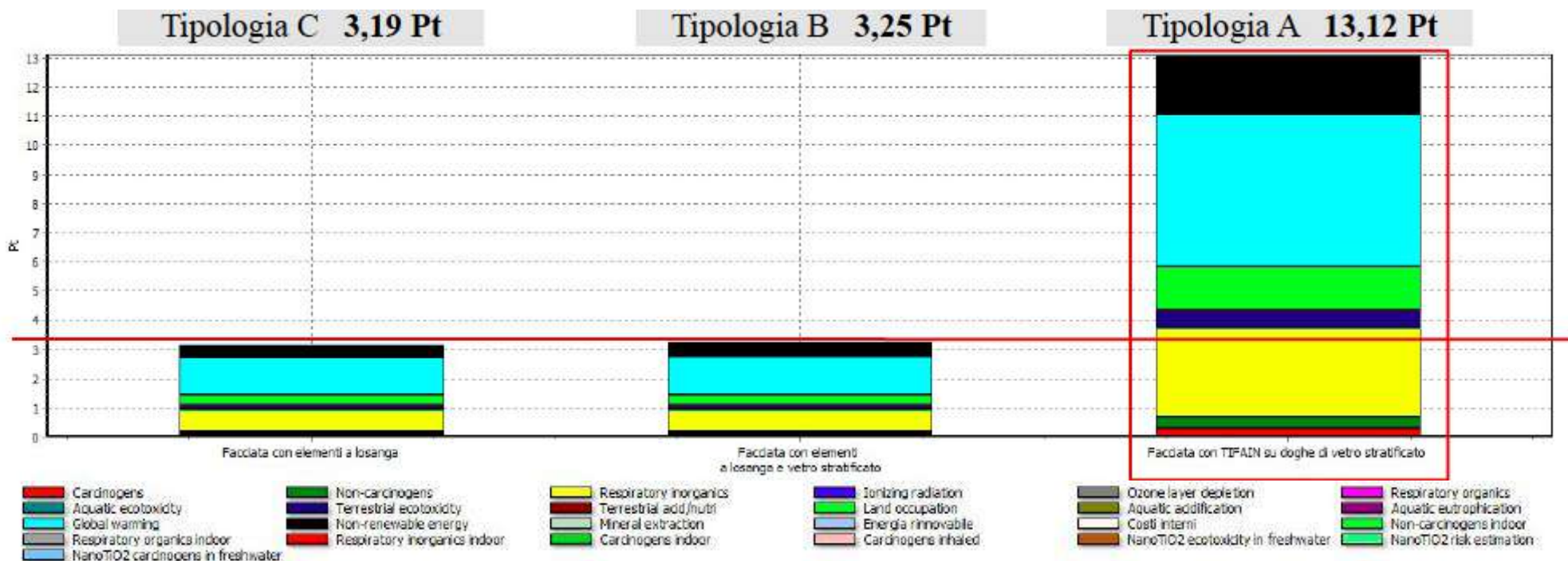
- Nel ciclo di vita il processo di produzione risulta il più impattante.
- Nel processo di produzione la **fase di bagno per la colorazione** risulta la più impattante; la causa principale è attribuibile alla **durata del processo** che rende molto importante l'impatto generale dell'**impianto di aspirazione (energia, impianto stesso, filtri)**.
Tuttavia si considera tale impatto molto minore rispetto a quello eventualmente determinato dalle emissioni qualora l'impianto di aspirazione non esistesse.
- La categoria di danno maggiormente interessata è *Climate change*, seguita da *Human health* e *Resources*.

LCA – V2 Risultati alla scala del sistema di facciata

Diagramma della valutazione per single score

Area funzionale = 15 m²

Tutte le tipologie comprendono l'energia elettrica generata

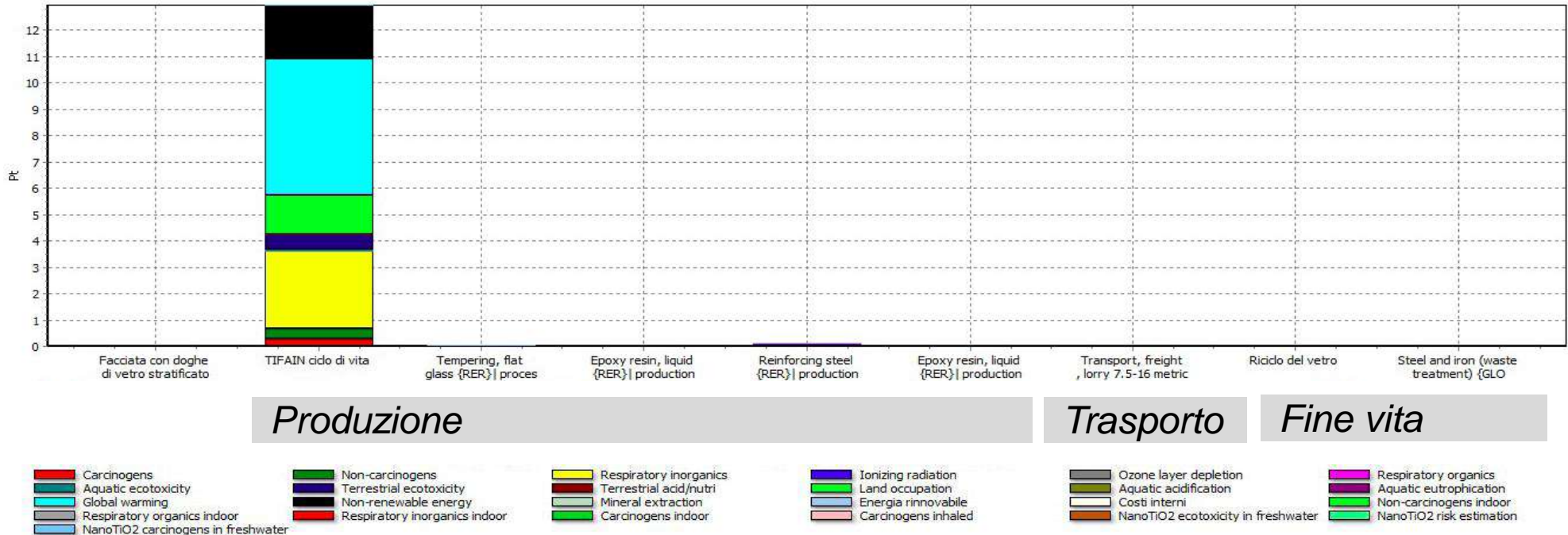


LCA – V2 Risultati alla scala del sistema di facciata

- La differenza tra tipologia B e tipologia C è minima; ciò significa che la presenza del vetro stratificato non apporta un impatto significativo.
- Tra le tre tipologie la tipologia A è risultata la più impattante. La causa è attribuibile al numero di tessere TIFAIN previsto e alla loro conformazione geometrica.
- In nessuno dei tre casi la struttura di supporto (seppur diversa) è risultata responsabile di una parte considerevole dell'impatto complessivo.
- La categoria di danno maggiormente interessata è anche in questo caso *Climate change*, seguita da *Human health e Resources*.

LCA – V2 Risultati alla scala del sistema di facciata

Diagramma della valutazione per single score del Tipo A



danno totale = **13,12 mPt**

98,70 % = TIFAIN

n. piastrelle Tipo A = 4* n. piastrelle tipo B e C

Conclusioni

- LCA ha permesso di comprenderne criticità e punti di forza;
- è emerso con evidenza che i processi, rispetto ai materiali impiegati, sono in maggior misura responsabili degli impatti → ottime possibilità migliorative, senza che lo studio di eventuali alternative intacchi le caratteristiche materiche della cella
- **V1**_Secondo dati da fonti di laboratorio alternative, la durata del processo “Bagno per la colorazione” può essere ridotta a poche decine di minuti in quanto la maggior parte dell'effetto è ottenuto in questo lasso di tempo
- **V2**_significativa prospettiva di miglioramento;
la tecnica di stampaggio del vetro con cui si producono le TIFAIN permette di conferire alla cella una geometria personalizzata in grado di ottimizzare captazione solare, struttura di sostegno (struttura di sostegno coerente e eco-efficiente nella quantità di materiale metallico impiegato) e risultato estetico-compositivo (grande trasparenza).
- Le emissioni indoor alle quali si è prestata molta attenzione (soprattutto le emissioni di nanoparticelle) hanno comportato un danno molto limitato

Conclusioni _ analisi future...

LCA e LCC – scale up alla filiera industriale

● LCA della facciata

Ottimizzazione della forma e della dimensione della piastrina

Ottimizzazione del rapporto fra area coperta / perimetro del telaio di supporto

● LCC della facciata

Façade Pay Back Time

Energy Pay Back Time → integrazione del PV

Carol Monticelli

MSarch PhD

*ricercatore in Tecnologia dell'Architettura -
Politecnico di Milano*

*Dip. di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni
e Ambiente Costruito*

Via E. Bonardi 9, 20133 Milano Italy

@: carol.monticelli@polimi.it

www.abc.polimi.it

www.textilearchitecture.polimi.it

www.polimi.it/cluster/clustex