



San Felice Colonnade, Pavia (Italy)

Life Cycle Management of a restoration project



Il Complesso di San Felice

- Impianto della chiesa (aula unica ed abside tripartita, sovrastante una cripta) → epoca longobarda
- Notizie più antiche → sec. VIII, monastero
- Completo rifacimento → avviato nella 2a metà del sec. XV, nuovo complesso organizzato intorno ad un chiostro quadrangolare affiancato alla chiesa
- Attuale configurazione del complesso dovuta all'opera tardo settecentesca di Leopoldo Pollak → da organismo conventuale ad orfanotrofio (destinazione mantenuta fino 1860 ca.)
- **Delle operazioni quattrocentesche sono sopravvissuti - nella loro struttura originaria - il chiostro e il refettorio**

Materiale: Pietra d'Angera

34 colonne: 30 perimetrali + 4 angolari

Dimensioni:

- Diametro fusto: 39.4 cm
- Diametro base: 44.3 cm
- Altezza: 231 cm
- Altezza capitello: 31 cm
- Altezza base: 49 cm (parte superiore) + 50 cm (parte inferiore)
- Le 4 colonne angolari sono composte da una sezione quadrata centrale e 2 sezioni circolari adiacenti
Lato sezione quadrata: 54.2 cm. Corda settori circolari: 39.4 cm. Altezza settori circolari: 9.8 cm





- **Approccio LCA applicato all'edilizia** → LCA dell'elemento ristrutturato senza tener conto dei componenti mantenuti in vita:

$$LCA = (\text{fine vita componenti dismessi durante la ristrutturazione}) + (\text{componenti nuovi con relativo fine vita}) + (\text{uso da } t_1 \text{ a } t_2)$$

- **Dati** in parte raccolti sul campo e in parte stimati.
- **Software** → SimaPro 8.02.
- **Database** → Ecoinvent 2 e 3, UNIMORE.
- **Impact methods**: IMPACT 2002+ modificato (indicatori socioculturali, costi interni ed esterni e benefici sociali) ed EPS.



Si suppone che, in seguito all'analisi radiografica, siano emersi i seguenti risultati:

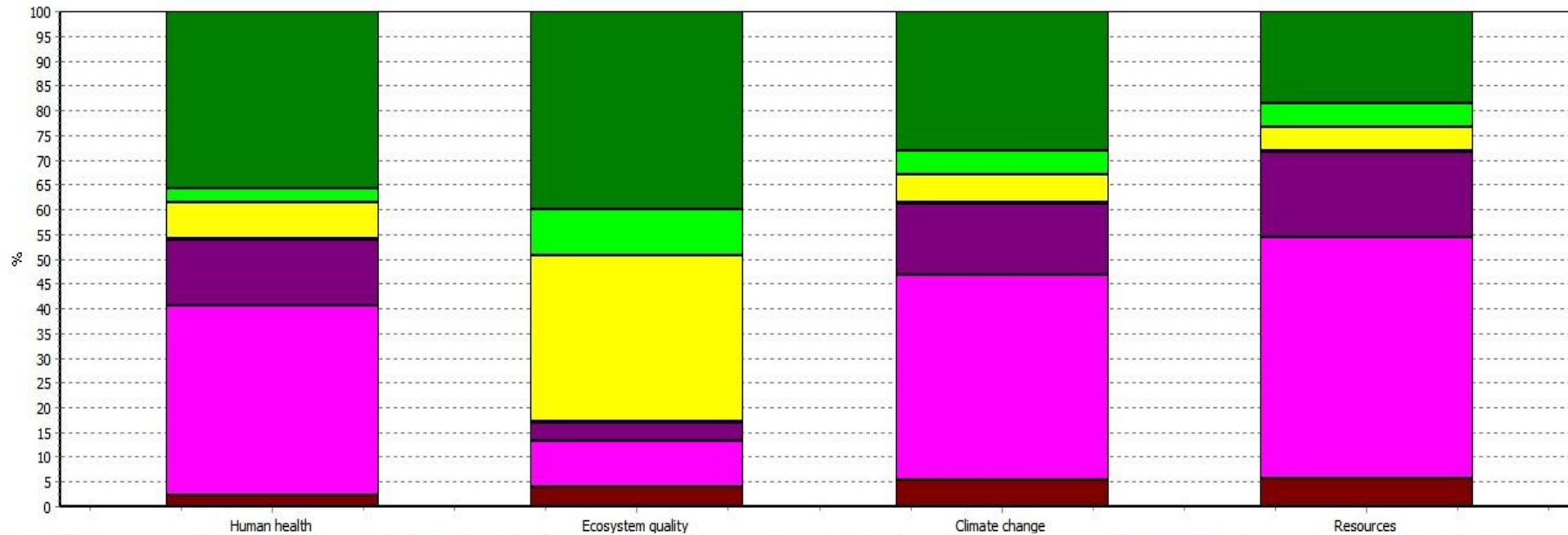
- ❑ Tutte le colonne richiedono il ripristino della superficie esterna. L'LCA considera la levigazione, il recupero e l'aggiunta del materiale necessario
- ❑ Il 40% delle colonne richiede il ripristino della resistenza mediante riempimento delle crepe e staffatura
- ❑ Il 15% delle colonne richiede il ripristino della resistenza mediante foratura assiale e inserimento di una barra di acciaio.





Restoration of the S. Felice colonnade. Impact 2002+.

Characterization results. Damage categories



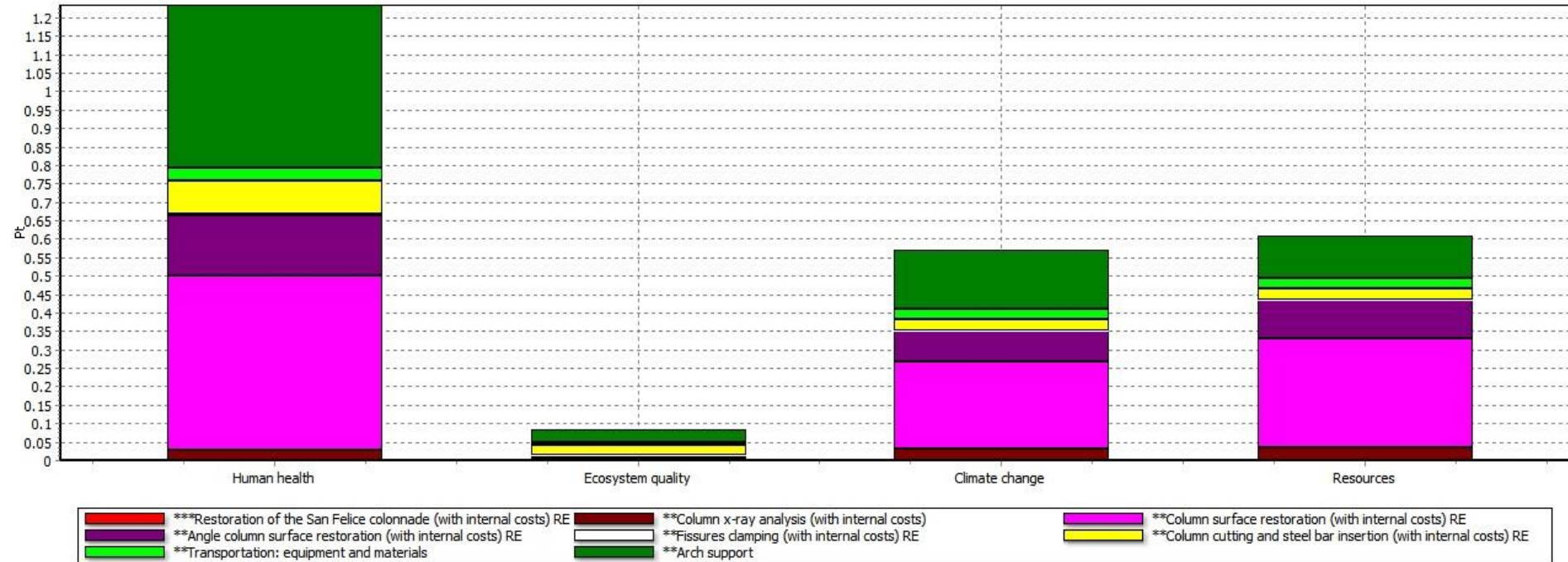
■ ***Restoration of the San Felice colonnade (with internal costs) RE
■ **Angle column surface restoration (with internal costs) RE
■ **Transportation: equipment and materials
■ **Column x-ray analysis (with internal costs)
■ **Fissures clamping (with internal costs) RE
■ **Arch support
■ **Column surface restoration (with internal costs) RE
■ **Column cutting and steel bar insertion (with internal costs) RE

Damage category	Unit	Total	Column x-ray analysis	Column surface restoration	Angle column surface restoration	Fissures clamping	Transportation: equipment and materials	Arch support	Column steel bar insertion
Human health	DALY	0.0088	2.22 %	38.03 %	13.28 %	0.27 %	2.69 %	35.70 %	7.28 %
Ecosystem quality	PDF*m2*yr	1129.1591	4.05 %	9.32 %	3.48 %	0.24 %	9.35 %	39.97 %	33.59 %
Climate change	kg CO2 eq	5657.3631	5.46 %	41.29 %	14.47 %	0.29 %	4.77 %	28.29 %	5.43 %
Resources	MJ primary	92259.7758	5.72 %	48.78 %	17.08 %	0.28 %	4.79 %	18.51 %	4.84 %



Restoration of the S. Felice colonnade. Impact 2002+.

Damage assessment. Normalized damage categories



Analyzing 1 p '***Restoration of the San Felice colonnade (with internal costs) RE';
 Method: *IMPACT 2002+060614(da190814) 16 10 14 NOcostErinn V2.10 / IMPACT 2002+ En.rinn. +costi / Weighting

Damage category	Unit	Total	Column x-ray analysis	Column surface restoration	Angle column surface restoration	Fissures clamping	Column steel bar insertion	Transportation: equipment and materials	Arch support
Total	%	100	3.88	40.52	14.21	0.28	7.15	3.90	30.04
Human health	%	49.47	2.23	38.22	13.38	0.27	7.32	2.70	35.88
Ecosystem quality	%	3.30	4.05	9.31	3.54	0.24	33.57	9.34	39.94
Climate change	%	22.90	5.46	41.29	14.48	0.29	5.43	4.77	28.28
Resources	%	24.33	5.72	48.78	17.08	0.28	4.84	4.79	18.51



Human Health. Characterization results.
Substance contribution. Cut off: 10%.



Substance	Compartm ent	Unit	Total	Column x-ray analysis	Column surface restoration	Angle column surface restoration	Fissures clamping	Transport ation: equipmen t and materials	Arch support	Column steel bar insertion
Total		%	100.00	2.23	38.23	13.36	0.27	2.70	35.89	7.32
<i>Particulates, < 2.5 um</i>	Air	%	27.84	1.91	35.23	12.30	0.32	2.16	36.80	11.29
<i>Nitrogen oxides</i>	Air	%	23.41	2.38	50.50	17.64	0.28	3.68	20.45	5.06
<i>Particulates, > 2.5 um, and < 10um</i>	Air	%	21.58	0.57	41.72	14.55	0.26	2.18	35.76	4.96
<i>Particulates, > 10 um</i>	Air	%	10.27	1.53	20.09	7.06	0.15	3.05	63.34	4.78
<i>Remaining substances</i>		%	16.90	5.09	32.76	11.45	0.27	2.70	39.28	8.46



Human Health. Characterization results.

Substance contribution. Cut off: 10%.



Substance	Compartm ent	Unit	Total	Column x-ray analysis	Column surface restoration	Angle column surface restoration	Fissures clamping	Transport ation: equipmen t and materials	Arch support	Column steel bar insertion
Total		%	100.00	2.23	38.23	13.36	0.27	2.70	35.89	7.32
<i>Particulates, < 2.5 um</i>	Air	%	27.84	1.91	35.23	12.00		2.16	36.80	11.29
<i>Nitrogen oxides</i>	Air	%	23.41	2.38	50.50					
<i>Particulates, > 2.5 um, and < 10um</i>	Air	%			41.72	14.00				
<i>Particulates, > 10 um</i>	Air	%	10.27	1.53	20.09				63.34	4.78
<i>Remaining substances</i>		%	16.90	5.09	32.76	11.45	0.27	2.70	39.28	8.46

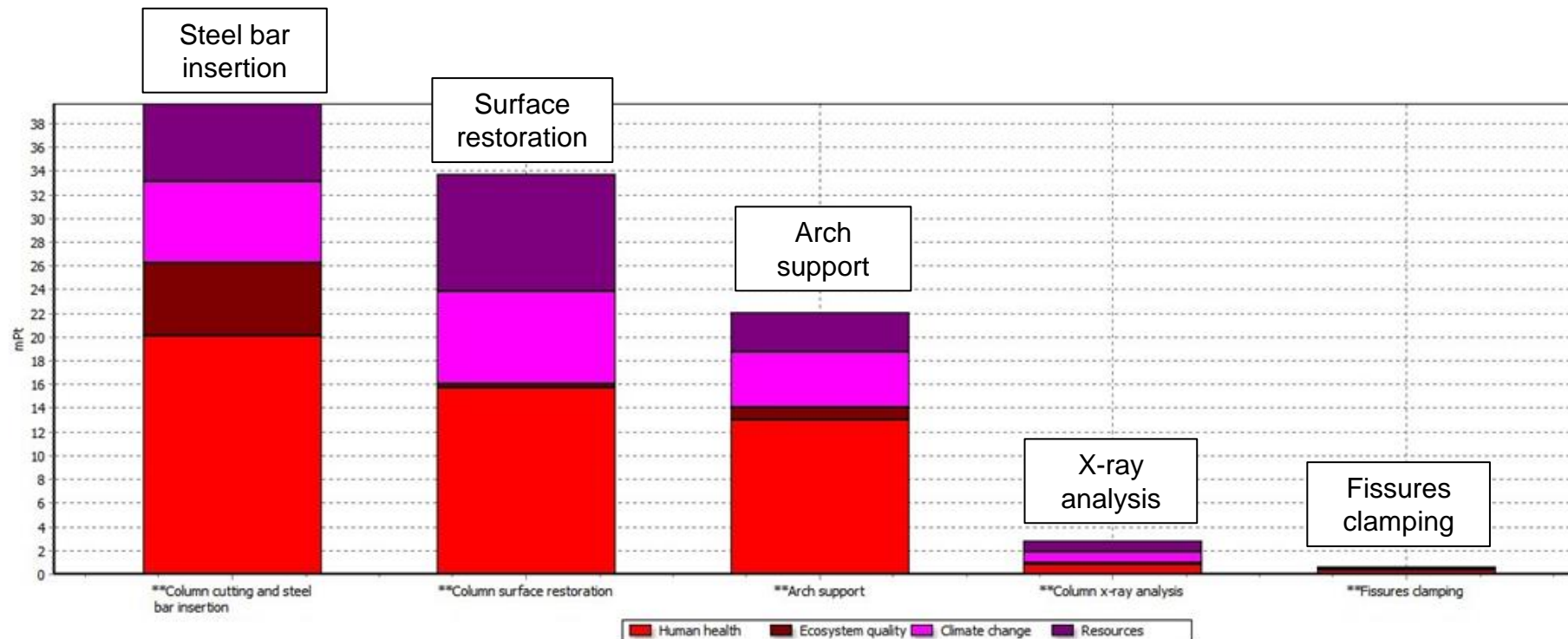
<p>Epoxy resin, liquid {RoW} production Alloc Def, U</p> <p>65.55%</p>	<p>Epoxy resin, liquid {RoW} production Alloc Def, U</p> <p>64.37%</p>	<p>Iron ore, crude ore, 46% Fe {GLO} iron mine operation, crude ore, 46% Fe Alloc Def, U</p> <p>31.13%</p>	<p>Coke {RoW} coking Alloc Def, U</p> <p>16.57%</p>
--------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------



Confronto tipologie di intervento

Le diverse tipologie di intervento sono applicate ad un numero differente di colonne.

Interessante paragonare i risultati dell'LCA utilizzando la stessa UF per tutte le tipologie di intervento → restauro di una singola colonna perimetrale.



Comparing processes;
Method: *IMPACT 2002+060614(da190814) 161014 NOcostErinn V2.10 / IMPACT 2002+ En.rinn.+costi / Single score



- Per stabilire il valore socioculturale del Built Cultural Heritage la WTP è inizialmente messa da parte in favore di **indicatori non monetari**, calcolati – quando possibile - basandosi su **valori fissi di riferimento**.
 - Problemi di affidabilità dei metodi WTP,
 - Metodo il più possibile standardizzato e riproducibile (LCA guidelines).
- **WTP** utilizzata per la procedura di monetizzazione degli indicatori socioculturali durante la fase di LCC.
 - Nello specifico sono stati utilizzati il metodo delle preferenze rilevate e il metodo delle preferenze dichiarate all'interno di uno scenario ipotetico.
- Scelta di indicatori socioculturali, delle relative categorie di impatto/danno e dei fattori di caratterizzazione, stabiliti su un range da 0.1 ad 1.



- Metodo che utilizza valori di riferimento o assunzioni per stabilire i valori da associare agli indicatori socioculturali
- Colonnato considerato come un elemento architettonico a sè stante e non come parte dell'edificio universitario:
 - Evitare problemi di allocazione
 - Coerente con l'approccio CH-LCM utilizzato in questo studio, che considera solo materiali, processi, utilizzo energetico e fine vita associati al progetto di restauro (senza considerare i materiali pre-esistenti)
- Valori [0; 1], variabili continue o variabili binarie.



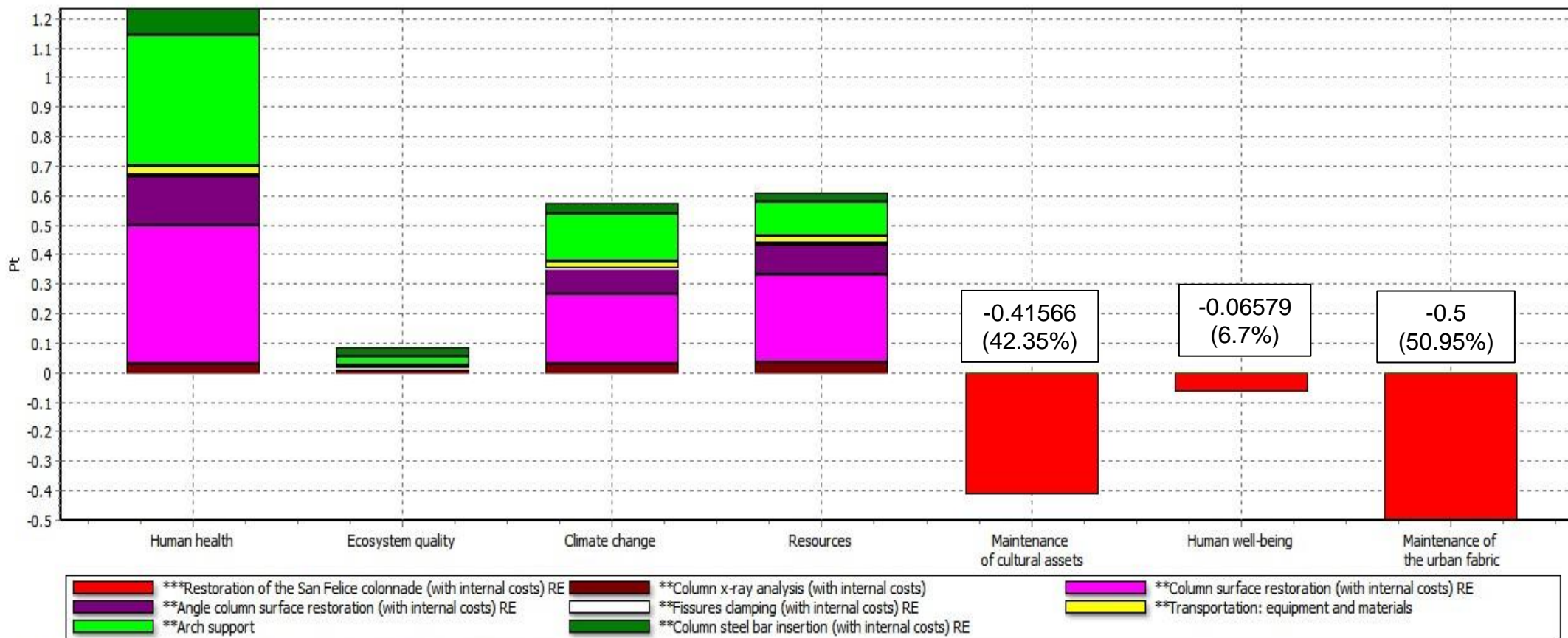
Impact category	Sociocultural indicator	Value	Calculation method
Cultural value of building	Aesthetic value	0.8	Personal assumption [0;1]
	Age of building	0.123847	The maximum value (1) is assumed for a building as ancient as the the Pyramid of Cheops in Egypt (2540 a.C.) $\rightarrow (2540+2014) = 4554$ years Age of the colonnade $\rightarrow (2014-1450) = 564$ years $1:X = 4554: 564$
	Historical evidence	0.4	CH catalogue of SIRBeC \rightarrow census of 16622 architectural goods . Correction that accounts for the scarcity Angera stone $\rightarrow + 0.2$
Building function	Cultural building	0	Dummy variable: 1 (final use of the building) or 0
	Hospital and Health building	0	Same as above
	Housing	0	Same as above
	Public building	0	Same as above
	Religious building	0	Same as above
	Scholastic building	0	Same as above
	Social building	0	Same as above
	Sport building	0	Same as above



Human well-being	Alimentation	0	Dummy variable: 1 (main activity carried out in the building) or 0
	Cultural heritage hand down	1	Same as above
	Education	0	Same as above
	Figurative arts	0	Same as above
	Institutional relations	0	Same as above
	Interpersonal relationships	0	Same as above
	Listening to music	0	Same as above
	Reading	0	Same as above
	Relax	0	Same as above
	Sexuality	0	Same as above
Sport	0	Same as above	
Urban value	Building location in the outskirts	0	Dummy variable: 1 (building location) or 0
	Building location inside the urban centre	1	Same as above
	Building location outside the urban centre	0	Same as above



Results_ S-LCA



Analyzing 1 p '***Restoration of the San Felice colonnade (with internal costs) RE';
 Method: *IMPACT 2002+060614(da190814) indsoc NOcosti/Erinn V2.10 / IMPACT 2002+ / Weighting



- **IMPACT 2002 + modificato**

- Costi interni, Costi esterni, Costi sociali
- Costi esterni →
 - Stipendio medio cittadino EU (Human Health)
 - Costo reintroduzione specie animale nell'ambiente (Ecosystem Quality)
 - Costo medio europeo di un kWh elettrico (Resources)
 - Costo CO2 (borsa emissione quote) (Climate Change)
- Costi sociali → procedura di monetizzazione degli indicatori socioculturali: WTP

- **Environmental Priority Strategies (EPS)**

- Solo costi esterni, metodo dedicato LCC, endpoint
- WTP per il ripristino o per evitare cambiamenti dei “safeguard subjects” (human health, abiotic stock resources, ecosystem’s production capacity, biodiversity → scelti all’interno dei soggetti indicati esplicitamente o implicitamente nel Protocollo di Rio).
- La WTP è misurata per l’attuale popolazione dei paesi OECD e gli effetti futuri non vengono scontati, in accordo con i principi dello sviluppo sostenibile.



❖ MAINTENANCE OF CULTURAL ASSETS

WTP min. e max per **gruppi di monumenti storici** → 0.01% and 0.2% salario annuo¹.

Salario annuo medio europeo 31150€: $31150 * (0.01 + 0.2) / 2 = 32.71€$.

Cifra allocata in base al numero di stakeholders (i.e. residenti di Pavia) e al numero di monumenti presenti nell'area considerata.

Municipalità di Pavia → 71297 residenti, (89.1% sopra 15 anni)

Territorio di Pavia → 49 testimonianze di architettura religiosa e rituale (SIRBeC census).

➤ Il **fattore di caratterizzazione** per la categoria di danno Maintenance of Cultural Assets equivale a:

$$71297 * 0.891 * 31150 * 0.00105 / 49 = \mathbf{42403€}$$

❖ BUILDING FUNCTION

WTP simata per un'**abitazione** (indicatore col fattore di caratterizzazione maggiore) → 2163€ per cittadino² e periodo medio di locazione assunto = 55 anni (80-25).

➤ Il **fattore di caratterizzazione** per la categoria di danno Building Function equivale a:

$$2163 * 55 = \mathbf{118965€}$$

¹[Pearce and Mourato (1998), estimated WTP values for CH conservation and restoration all over the world. Moreschini (2003) elaborated these values for five different categories of Built CH].

² The average rental expenditure in Europe as stated in the "EuropaConsumi" report of Confcommercio -



❖ HUMAN WELL-BEING

Gli indicatori di benessere sono fortemente influenzati da numerosi aspetti come ricchezza e organizzazione sociale, ma la presenza di un edificio che permette di espletare le attività fondamentali gioca sicuramente un ruolo importante nella determinazione del Subjective Well Being (SWB).

Massimo beneficio in termini di aumento di aspettativa di vita dovuto al benessere collegato alla conservazione del CH → 2 anni (1/2 minimo aumento associato ad alti livelli di SWB riportato da Diener and Chan, 2010).

- Il valore economico di questo beneficio è calcolato in base al salario medio EU: $31150 \times 2 = 62300\text{€}$.

❖ MAINTENANCE OF THE URBAN FABRIC

Aumento di valore di una casa in centro rispetto ad una in periferia (**metodo prezzi edonici**), allocato secondo il numero di monumenti e secondo altre variabili (centro commerciale naturale, servizi, piazze ad altri luoghi di socializzazione, scuole, palestre, locali pubblici, luoghi di culto ...).

Si assume che la presenza di built cultural heritage contribuisca per l'1% al mantenimento del tessuto urbano.

abitazioni centro storico Pv → 3799. Allocations chiostru → (221 beni culturali censiti nel comune di Pv. Correzione -50%: presenti più beni rispetto a quelli censiti; alcuni monumenti principali (duomo) avranno un valore maggiore. $1/(221 \times 1.5) = 1/331.5$
Differenza di prezzo abitazioni calcolata da Mourato et al. → 100000 sterline = 125000€

- **Fattore di caratterizzazione** per la categoria Maintenance of the Urban Fabric: $125000 \times 3799 \times 0.01 \times 1/331.5 = 14325\text{€}$



S-LCC_Risultati



<i>Metodo</i>	<i>Costi</i>	<i>Human Health [ELU] [€]</i>	<i>Ecosystem production capacity [ELU]</i>	<i>Abiotic stock resource [ELU] Resource [€]</i>	<i>Biodiversity [ELU] Ecosystem quality [€]</i>	<i>Climate change [€]</i>	<i>Totale [€]</i>
EPS	Esterni	1405	- 7.875	6149.8	16.1	/	7563.2
Modified IMPACT 2002 +	Esterni	272.67	/	1919	5.1835	44.184	2241.038
	Interni	28817.36 (67.3% materiali)					
	Interni + Esterni	31058.4					
	Sociali	- 36337.5 (48.5% Maintenance of Cultural Assets)					
	Bilancio	- 5279.14					



***Grazie
per
l'attenzione***

