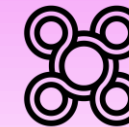




XVIII INTERNATIONAL SIIV SUMMER SCHOOL Sustainable Pavements and Road Materials

Università degli Studi di Napoli Parthenope
Villa Doria d'Angri, Napoli, September 5th-9th 2022



procida
capitale italiana
della cultura
2022

Sistemi di supporto alla gestione delle pavimentazioni stradali in ambiente BIM

5-9

SEP
TEM
BER

Università di Napoli Parthenope

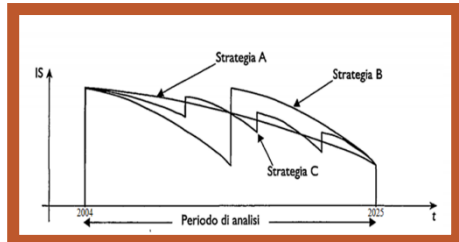
.22



Salvatore Antonio Biancardo
University of Napoli Federico II

Introduzione al problema

Gestione della manutenzione stradale



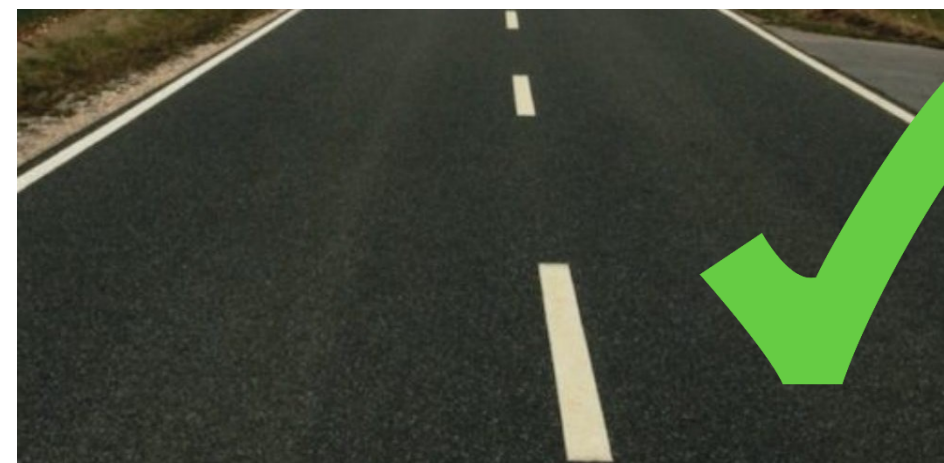
Caratterizzazione sperimentale

Mix design e verifica delle soluzioni in conglomerato bituminoso

Sceita della strategia di intervento

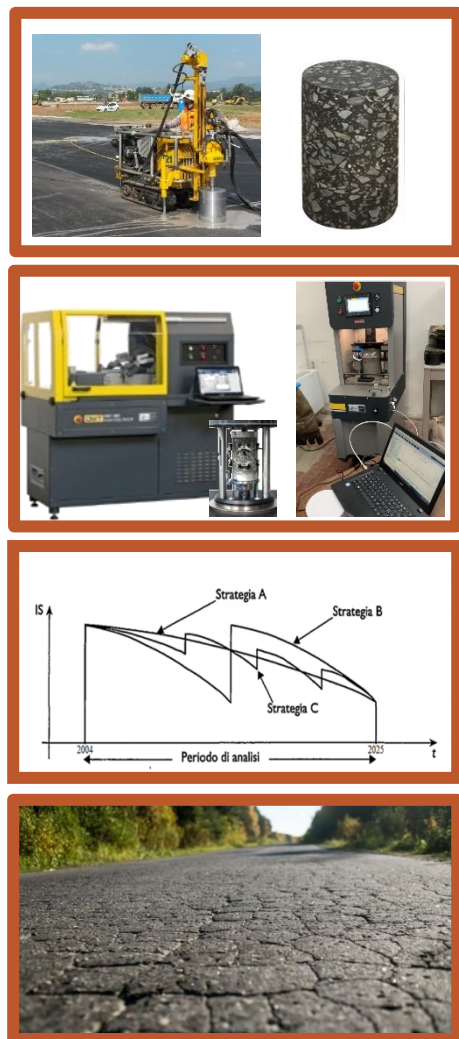
Monitoraggio della soluzione proposta

Pavement Management Systems



Introduzione al problema

Gestione della manutenzione stradale



Caratterizzazione sperimentale

Mix design e verifica delle soluzioni in conglomerato bituminoso

Sceita della strategia di intervento

Monitoraggio della soluzione proposta

Sostenibilità della soluzione con riferimento all'intero ciclo di vita

Impatti sociali

Aspetti ambientali (LCA)

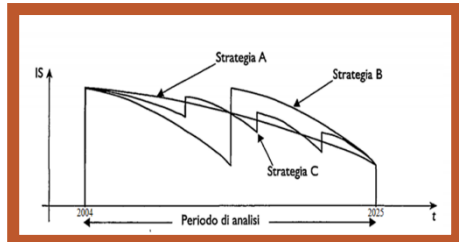


Mantenimento delle performance

Costi (LCCA)

Introduzione al problema

Gestione della manutenzione stradale



Caratterizzazione sperimentale

Mix design e verifica delle soluzioni in conglomerato bituminoso

Scelta della strategia di intervento

Monitoraggio della soluzione proposta

Problematiche 

- Riutilizzo di fresato e materie prime seconde
- Utilizzo di tecnologie di produzione innovative
- Rispetto dei requisiti dei Capitolati speciali d'appalto
- Previsione di curve di degrado di specifici indicatori di stato
- Interazione con altre condizioni al contorno

Introduzione al problema

Building Information Modeling

Modello collaborativo reso possibile dalle tecnologie digitali, che consente un modo più efficiente di progettare, costruire, mantenere e utilizzare le nostre infrastrutture, poiché integra in un unico modello intelligente tutte le informazioni utili in ogni fase della progettazione.



Infrastructure-BIM

CIM

Il modello non è una semplice rappresentazione tridimensionale

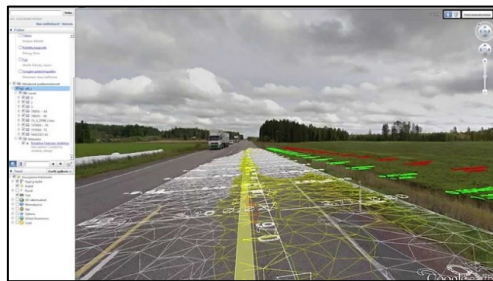
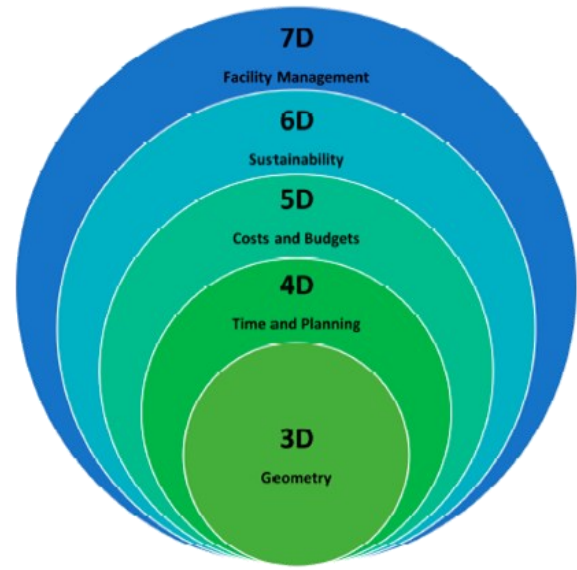


Promuove una metodologia di lavoro **collaborativa** per i diversi attori del processo

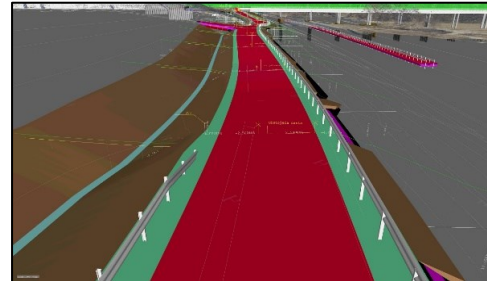


Aggiorna **dinamicamente** le informazioni

	BIM Level 0	BIM Level 1	BIM Level 2	BIM Level 3
Maturity				
Formats	CAD 1990s	2D 3D 2000s	BIM 2010s	Building Lifecycle Management BLM 2020s
Standards	BS 1192:2007 BS 7000-4	BS 8541:2	BS 1192-2 CAPEX BS 1192-3 OPEX BS 8541:1, 3, 4	IFC IDM IFD
Tools	Paper	File-based Collaboration	Files and Libraries	Integrated BIM Services, BIM Hub



Laatunen et al., 2016



Lineal D.O.O., 2018



Introduzione al problema

Standard internazionali

ISO 11337 - Gestione Digitale Dei Processi Informativi delle Costruzioni BIM

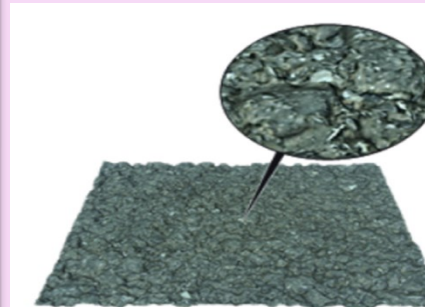
ISO 19650 - Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile

BIM per le infrastrutture

Potenzialità

- **modellazione ad oggetti:** classi in cui raggruppare gli oggetti
- **implementazione di parametri:** possibilità di aumentare il contenuto informativo di un modello grazie all'inserimento di informazioni riferite agli elementi

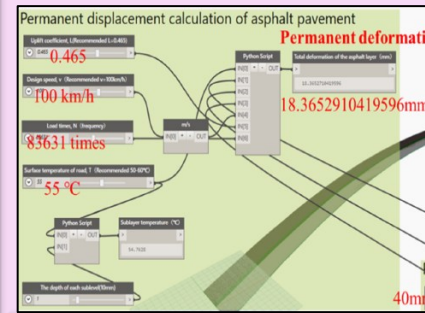
Applicazioni



Ricostruzione in tempo reale della superficie 3D attraverso fotogrammetria a corto raggio (Chen et al. 2020)



Visualizzazione delle proprietà attraverso filtri grafici (Bosurgi et al. 2019)



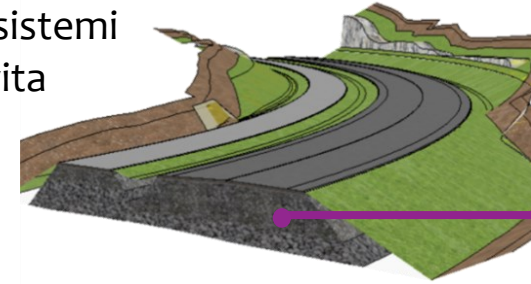
Integrazione di strumenti di previsione del degrado di una pavimentazione (Tang et al. 2020)

Obiettivo

Metodologia di gestione di una pavimentazione stradale basata sui concetti di **manutenzione predittiva** e valutazione degli **impatti ambientali ed economici del ciclo di vita**



Identificazione del **livello di fabbisogno informativo dell'oggetto digitale** "pavimentazione" per l'applicazione di opportuni sistemi di gestione del ciclo di vita



Parameter	Value
Text	
Road name	SP 336
Authority	province of Caserta
Year	2011.
Other	
Air voids (dimensional)	11.626667
Air voids (paraffin) [%]	6.500000
Air voids (SSD) [%]	7.535000
Bitumen Content [%]	6.050000
Marshall Stability [daN]	1247.750000

Pavement Information Model

Risultati di indagini in situ

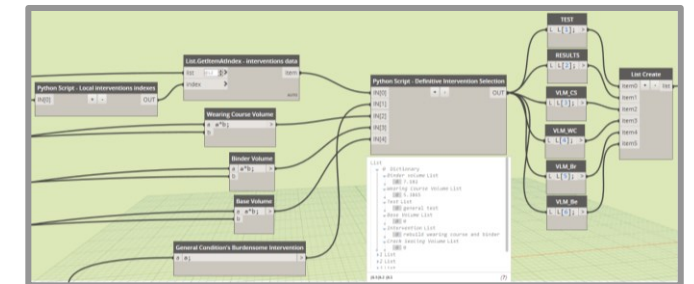


Codici di calcolo per la valutazione del ciclo di vita

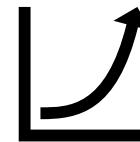


Documentazione cartacea

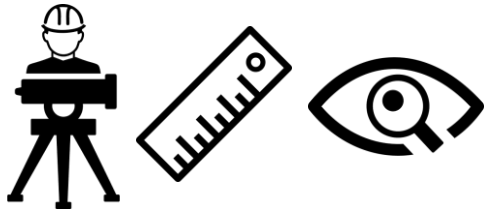
Strumenti analitici automatizzati per individuare la migliore soluzione manutentiva



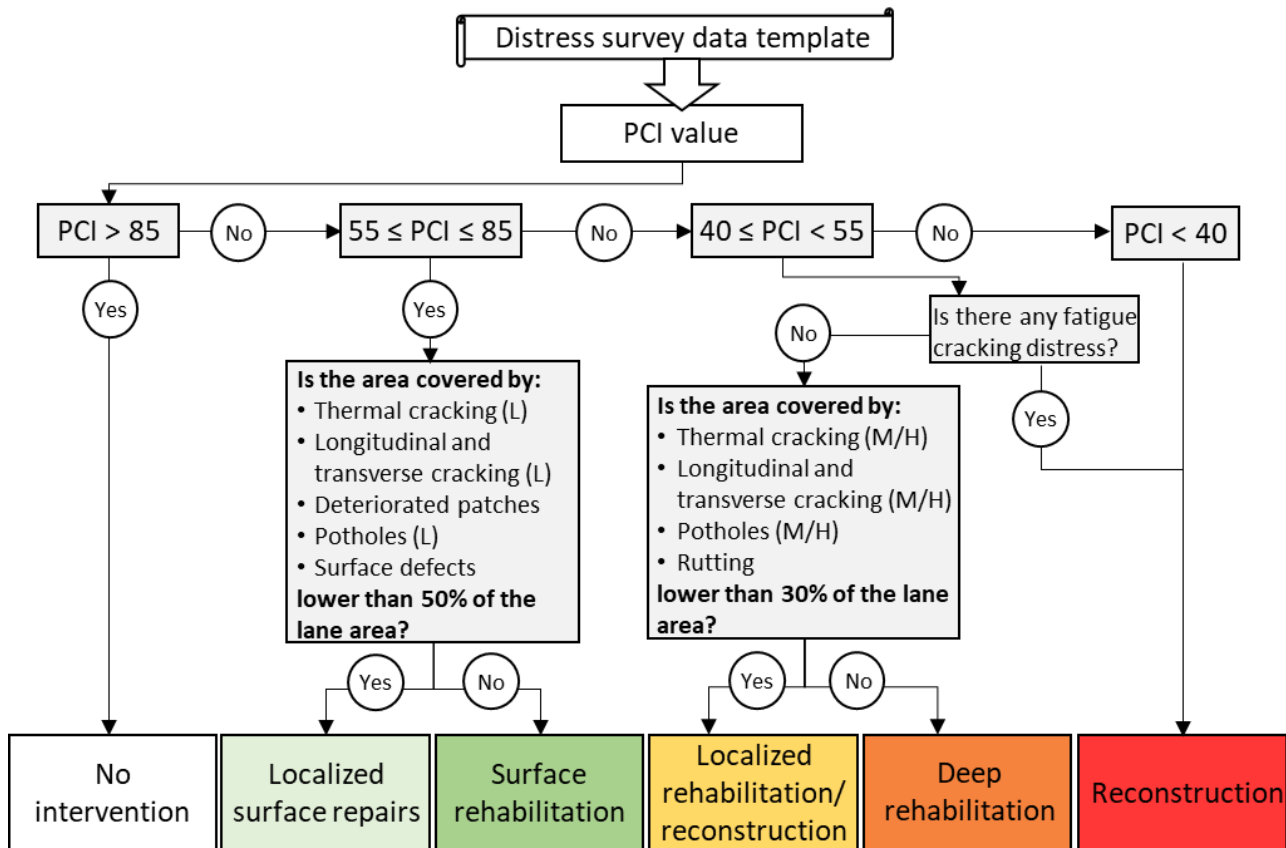
Leggi di degrado delle prestazioni



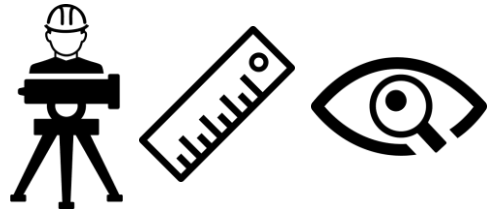
Metodologia: Definizione del Pavement Management System



Rilievo visivo e strumentale
dei dissesti in situ



Metodologia: Definizione del Pavement Management System

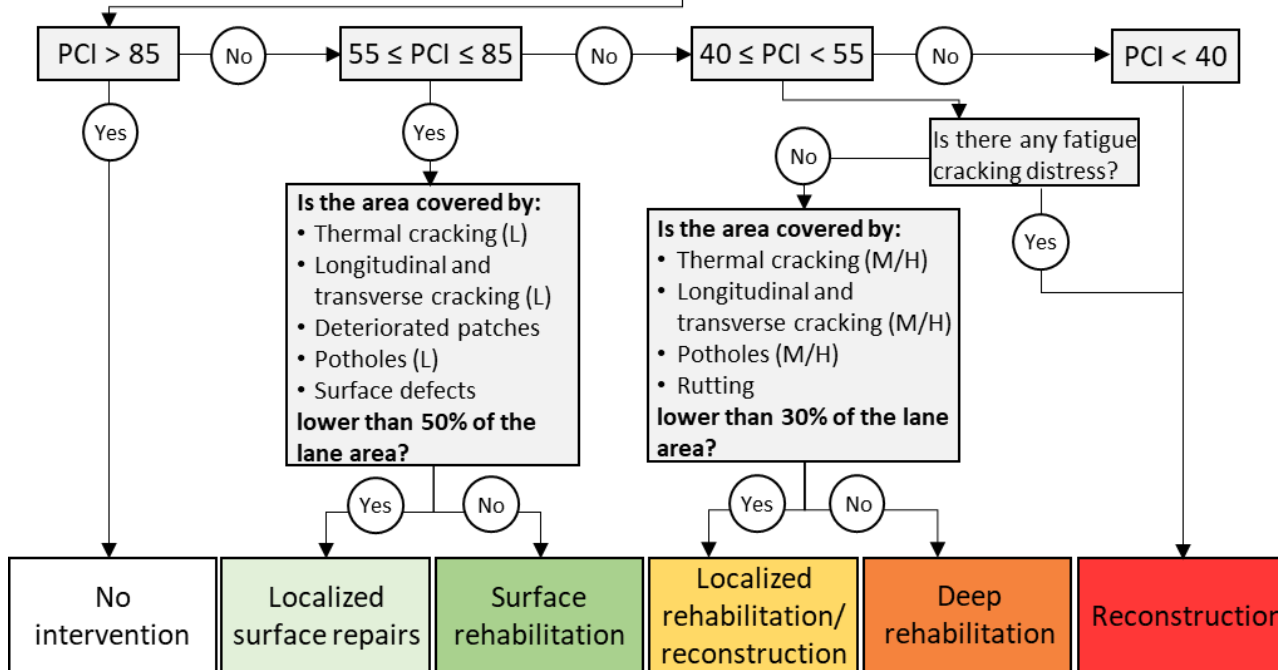


Rilievo visivo e strumentale dei dissesti in situ



Distress survey data template

PCI value



KENPAVE

Calcolo dello stato tenso-deformativo secondo il modello di multistrato elastico, omogeneo e isotropo

(Huang, 2004)



- Previsione del danno cumulato a fatica (DC)

$$DC = \sum_j \sum_i \frac{n_{i,j}}{N_{i,j}} \leq 1$$

- Previsione della profondità dell'ormaia (u_{tot})

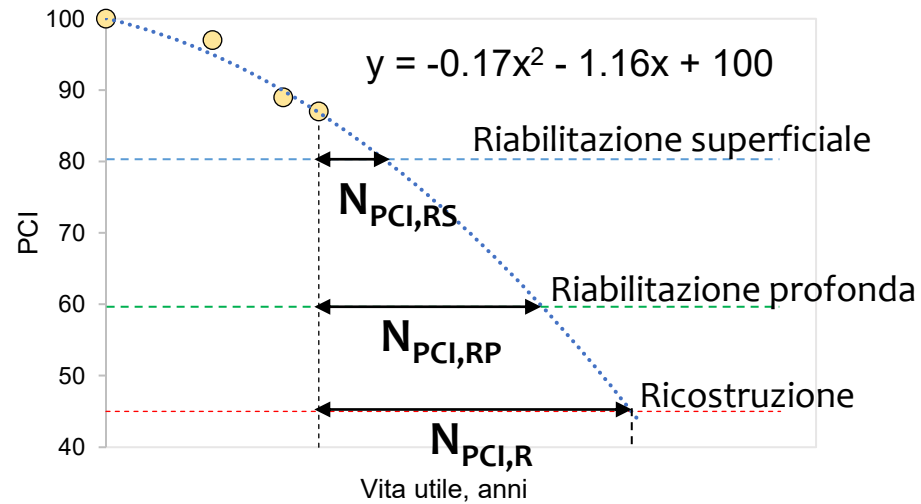
$$u_{tot} = \sum_{s=1}^3 \varepsilon_{p,s} \cdot h_s \leq 2 \text{ cm}$$

(AASHTO, 2008)

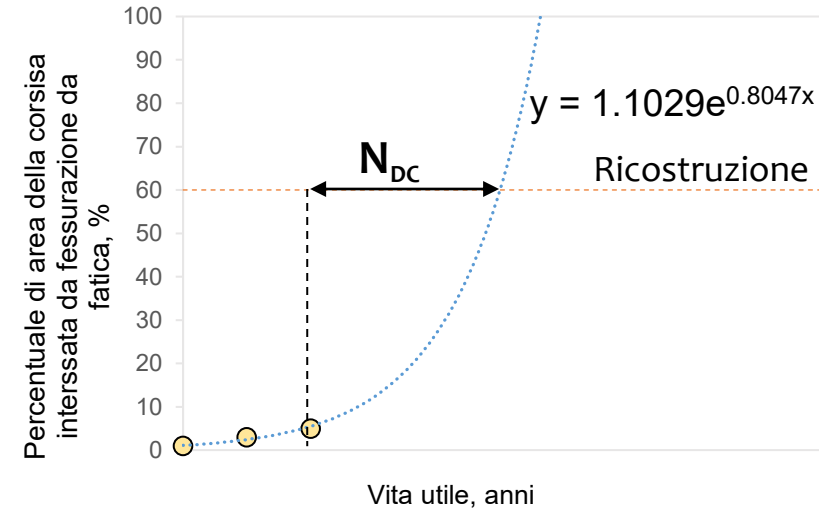
Metodologia: Definizione del Pavement Management System

Previsione dell'evoluzione delle condizioni della sovrastruttura nel tempo tramite **modelli previsionali** e **serie storiche di dati**, opportunamente interpolate da equazioni polinomiali o esponenziali

Indicatore di stato globale: Pavement Condition Index



Leggi previsionali di accumulo del danno



$\min(N_{PCI}, N_{SD_i})$ per riabilitazione superficiale

$\min(N_{PCI}, N_{utot}, N_{SD_i})$ per riabilitazione profonda

$\min(N_{PCI}, N_{DC}, N_{SD_i})$ per ricostruzione

Definizione di strategie di intervento alternative

Metodologia: Life Cycle Assessment

Formulazione analitica del problema: calcolo dell'indicatore di categoria di impatto ambientale EI_x per ciascuna fase del ciclo di vita in un approccio «from cradle to grave»

$$EI_x = EI_x^{RMP} + EI_x^A + EI_x^{CON} + EI_x^M + EI_x^{EOL}$$

$$EI_x^{RMP} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (Q_{i,j}^M \cdot EI_{j,x}^M) + (Q_{i,j}^M \cdot D_j^M \cdot EI_{j,x}^T)$$

$$EI_x^A = \sum_{i=1}^a (Q_i^A \cdot EI_x^{AP}) + (Q_i^A \cdot D^A \cdot EI_x^T)$$

$$EI_x^{CON} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \left(\frac{Q_i^{A,ES}}{PM} \cdot EI_{k,x}^M \right) + (Q_i^{A,ES} \cdot P_i^W \cdot EI_x^W) + (Q_i^{A,ES} \cdot (1 - P_i^W) \cdot EI_x^R) + \left(\frac{Q_i^A}{P_{i,k}^C} \cdot EI_{k,x}^C \right)$$

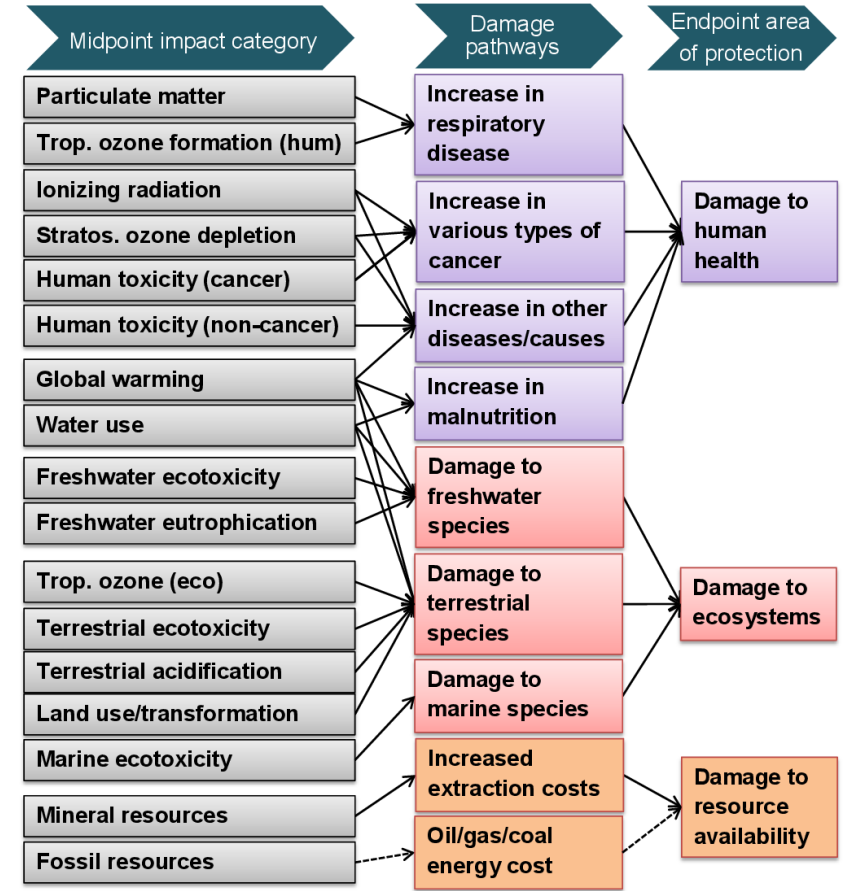
$$EI_x^M = \sum_{i=1}^a (EI_{i,x}^{RMP} + EI_{i,x}^A + EI_{i,x}^C) \cdot m_i$$

➔

Gli impatti relativi alla fase manutentiva dipendono dalla struttura del PMS e dalle alternative di progetto

$$EI_x^{EOL} = \sum_{i=1}^a (Q_i^A \cdot D^W \cdot EI_x^T) + (Q_i^A \cdot P_i^W \cdot EI_x^W) + (Q_i^A \cdot (1 - P_i^W) \cdot EI_x^R)$$

Metodologia di valutazione di impatto ambientale (Huijbregts et al., 2016)



Metodologia: Life Cycle Cost Analysis (Agency's Cost)

Metodologia di calcolo di un indicatore economico dell'intero ciclo di vita di un prodotto o servizio, partendo dalle fasi precedenti la produzione fino alla sua dismissione finale.

Costo del ciclo di vita espresso attraverso il VAN (Valore Attuale Netto), ovvero il valore attuale di una serie attesa di flussi di cassa attualizzati sulla base del tasso di rendimento r .

$$LCC = C^{CON} + C^M + C^{EOL} - S \frac{1}{(1+r)^n}$$



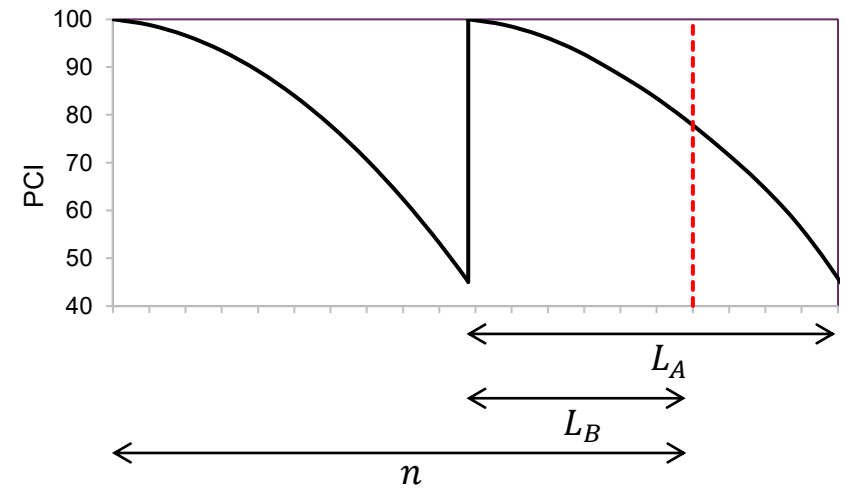
Salvage Value: valore residuo della pavimentazione al termine del periodo di analisi

$$C^{CON} = \sum_{i=1}^a Q_i^A \cdot \left(\sum_{j=1}^b Q_{i,j}^M \cdot C_j^M + \sum_{k=1}^c \frac{Q_i^A}{P_{i,k}^E} \cdot C_k^E + \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \frac{Q_i^A}{P_{i,k,l}^E} \cdot n_l^W \cdot C_l^W \right)$$

$$C^M = \sum_{i=1}^a \left[Q_i^A \cdot \left(\sum_{j=1}^b Q_{i,j}^M \cdot C_j^M + \sum_{k=1}^c \frac{Q_i^A}{P_{i,k}^E} \cdot C_k^E + \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \frac{Q_i^A}{P_{i,k,l}^E} \cdot n_l^W \cdot C_l^W \right) \right] \cdot m_i \cdot \frac{1}{(1+r)^{n_i}}$$

$$C^{EOL} = \sum_{i=1}^a \left[(Q_i^A \cdot D^W \cdot C^T) + (Q_i^A \cdot P_i^W \cdot C^W) + (Q_i^A \cdot (1 - P_i^W) \cdot C^R) \right] \cdot \frac{1}{(1+r)^{n_i}}$$

$$S = C_{m_a} \left(1 - \frac{L_A}{L_B} \right)$$



Metodologia: Analisi multi-attributo

1 Definizione della **matrice di decisione**

← m indicatori →

Alternativa	Indicatori di stato			Costo del ciclo di vita	Impatti ambientali del ciclo di vita		
1	IS _{1,1}	...	IS _{m,1}	C ₁	IA _{1,1}	...	IA _{m,1}
...							
n	IS _{1,n}	...	IS _{m,n}	C _n	IA _{1,n}	...	IA _{m,n}

2 Applicazione di **vincoli di budget**

$$\sum_{t=t_0}^{t^*} C_t \leq B_{t^*} \quad (\text{Torres-Machi et al., 2018})$$

3 Calcolo della **matrice normalizzata** (Vafaei et al., 2016)

$$n_{ij} = \frac{a_{i,j} - \min_i a_{i,j}}{\max_i a_{i,j} - \min_i a_{i,j}} \quad n_{ij} = 1 - \frac{a_{i,j} - \min_i a_{i,j}}{\max_i a_{i,j} - \min_i a_{i,j}}$$

Normalizzazione di indicatori a massimizzare Normalizzazione di indicatori a minimizzare

4 Definizione di un **vettore dei pesi**

- Analytic Hierarchy Process
 - Valutazioni ingegneristiche
- (Santos et al., 2019)

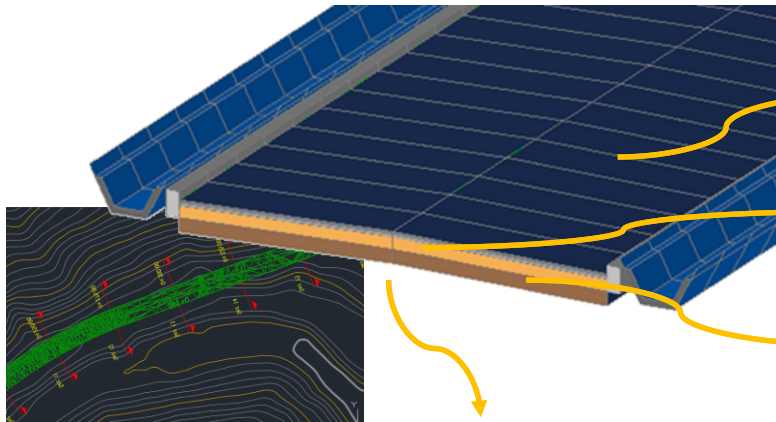
5 Calcolo dell'**utilità** di ciascuna alternativa e definizione di un ordine di preferenza

$$U_i = \sum_j w_j \cdot n_{i,j} \quad \rightarrow \quad U^* = \max U_j$$

Risultati

Elaborazione di un piano di manutenzione stradale per un tronco di pavimentazione in ambiente I-BIM

Elaborazione del modello geometrico di una sovrastruttura stradale



Superfici

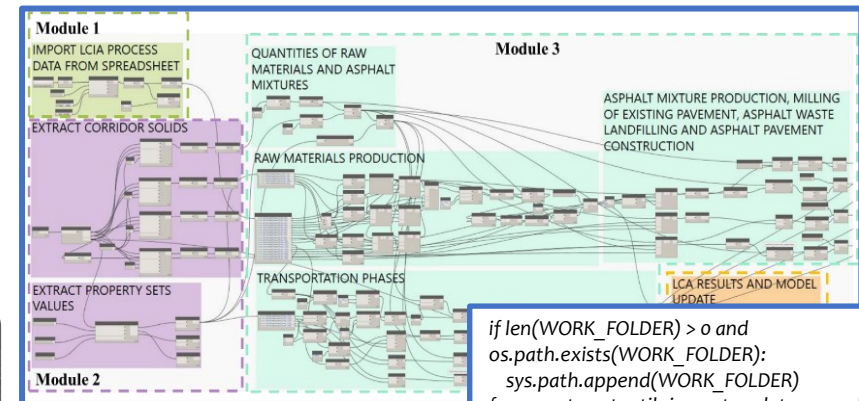
Spessori degli strati della pavimentazione

Volumi di materiale

Dati storici relativi al monitoraggio dei dissesti in situ



Informatizzazione del modello tramite gli output del codice di calcolo relativi alla strategia di manutenzione che rappresenta il migliore compromesso tra prestazioni strutturali, costi ed impatti ambientali del ciclo di vita



```
if len(WORK_FOLDER) > 0 and  
os.path.exists(WORK_FOLDER):  
    sys.path.append(WORK_FOLDER)  
from pset.pset_utils import update_ps_values_csv as fn  
csvpath = IN[0]  
pset_name = IN[1]  
if csvpath is None or pset_name is None:  
    OUT = fn.__doc__  
else:  
    fn(csvpath, pset_name)  
    OUT = True
```

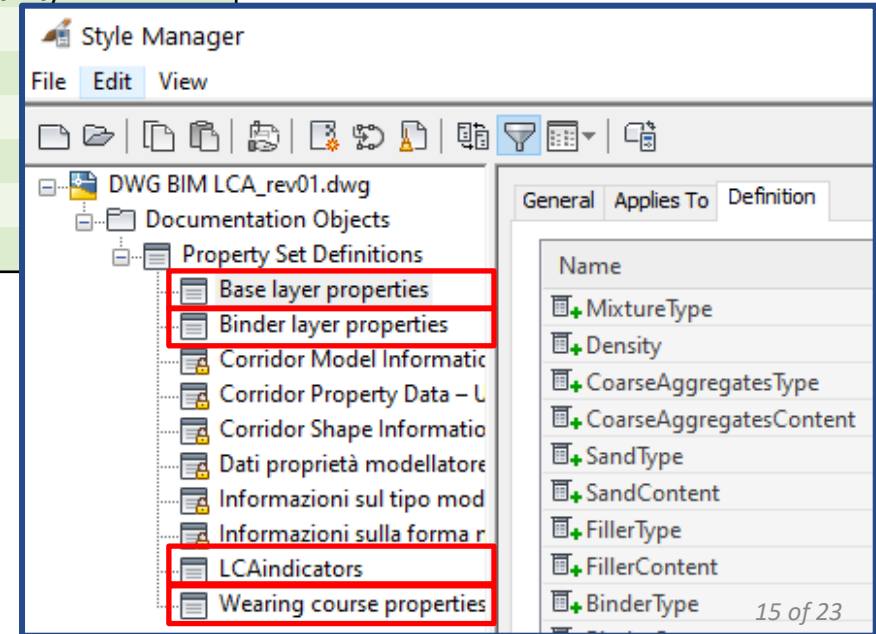


Risultati

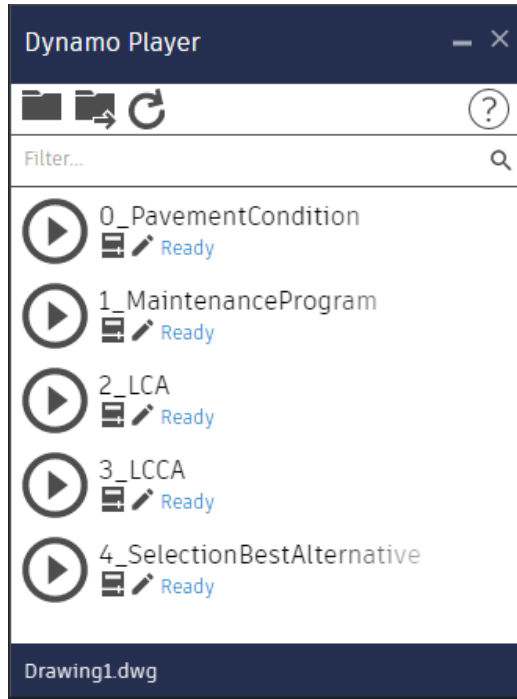
Dissesti stradali	Costi unitari	Indicatori di impatto (es. GWP)	Proprietà dei materiali	Condizioni operative
FatigueCrackingH	CoarseAggregatesCost	GWPAggregatesProduction	CoarseAggregatesContent	DistanceQuarryPlant
FatigueCrackingM	SandCost	GWPSandProduction	SandContent	DistancePlantSite
FatigueCrackingL	FillerCost	GWPFillerProduction	CoarseAggregatesType	DistanceRefineryPlant
BlockCrackingH	BitumenCost	GWPBitumenProduction	SandType	AsphaltMillingProductivity
LongitudinalCrackingH	BitumenEmulsionCost	GWPBitEmulsionProduction	FillerContent	DistanceSiteLandfill
LongitudinalCrackingM	CementCost	GWPCementProduction	FillerType	AsphaltLayingProductivity
LongitudinalCrackingL	LayingCost	GWPHMAProduction	RAPContent	AsphaltCompactionProductivity
TransverseCrackingH	CompactionCost	GWPAsphaltMilling	CementContent	PulvimixerProductivity
TransverseCrackingM	PulvimixerCost	GWPAsphaltLaying	AddedWater	GraderProductivity
TransverseCrackingL	GraderCost	GWPAsphaltCompaction	MixtureType	
EdgeCrackingH	TransportationCost	GWPPulvimixer	Density	
EdgeCrackingM	SkilledWorkerCost	GWPGrader	BinderType	
EdgeCrackingL	SpecializedWorkerCost		BinderContent	
PatchesH	LandfillingCost			
PatchesM	RecyclingCost			

Definizione del livello di fabbisogno informativo dell'oggetto digitale «pavimentazione»

Visualizzazione dei set di proprietà dall'interfaccia utente in Civil 3D



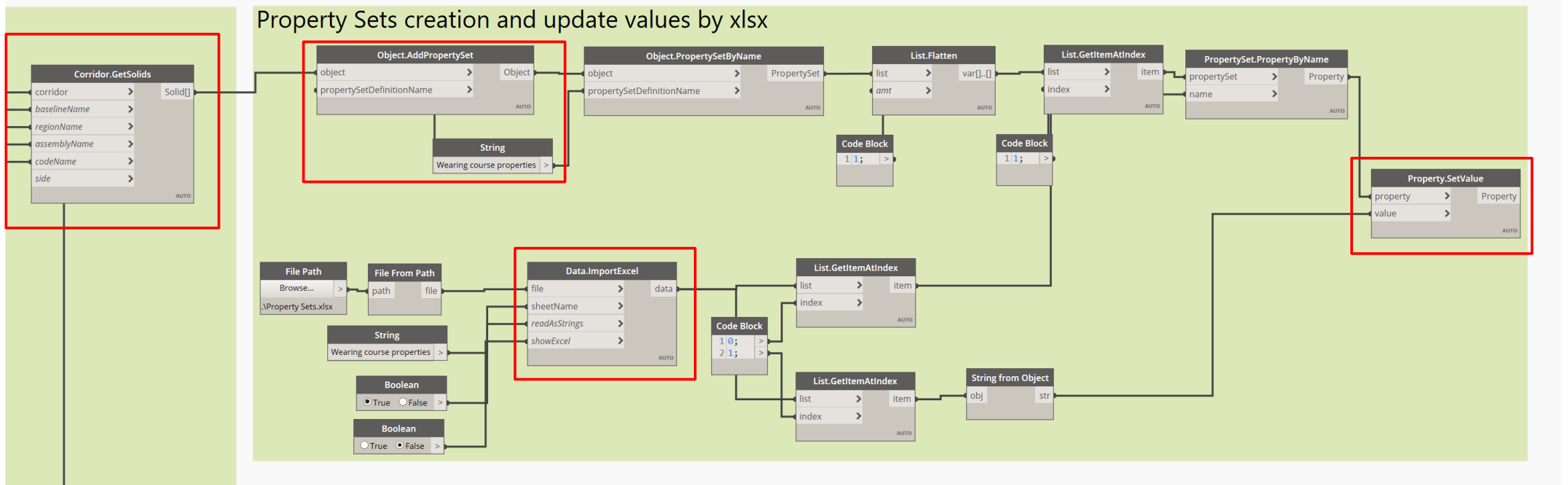
Risultati



- **5 applicativi** che scambiano informazioni tra di loro e con il BIM della pavimentazione:
 - 0 Calcolo degli indicatori di stato a partire dalle schede di rilievo dei dissesti in situ;
 - 1 Definizione degli intervalli per effettuare interventi di manutenzione sulla base di strategie preventive o reattive;
 - 2 Valutazione ambientale del ciclo di vita delle soluzioni;
 - 3 Valutazione dei costi del ciclo di vita sostenuti dall'ente gestore;
 - 4 Selezione dell'alternativa migliore secondo analisi multicriteria.
- Per ciascun modulo possono essere selezionate delle **variabili di input**, ovvero variabili aggiornabili dall'utente direttamente dall'interfaccia del tool di analisi per tenere conto di condizioni specifiche del progetto in analisi,

Risultati

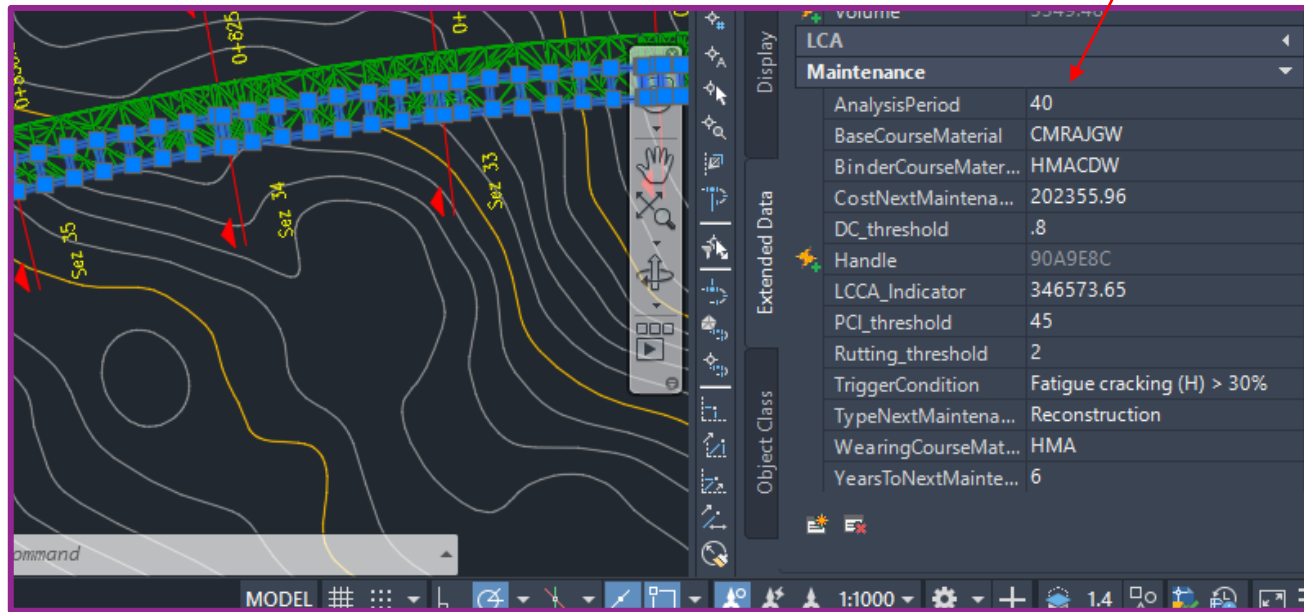
1) Script di calcolo per la creazione di Set di proprietà e assegnazione di valori importati da template di dati



Risultati

2) Visualizzazione del Set di proprietà associato all'oggetto

Ciascun set di proprietà è applicato a uno specifico oggetto del modello, di cui è possibile esplorare il contenuto informativo accedendo al pannello delle proprietà.



Before running the script

The screenshot shows the properties panel for a 'Corridor' object. The 'LCAIndicators' table is empty.

Object Class	Value
A	0
CT	0
FE	0
FECO	0
FR	0
GWP	0
Handle	90A802
IR	0
LU	0
ME	0
MECO	0
MR	0
NCT	0
ODP	0
OFH	0
OFT	0
PM	0
TECO	0
W	0

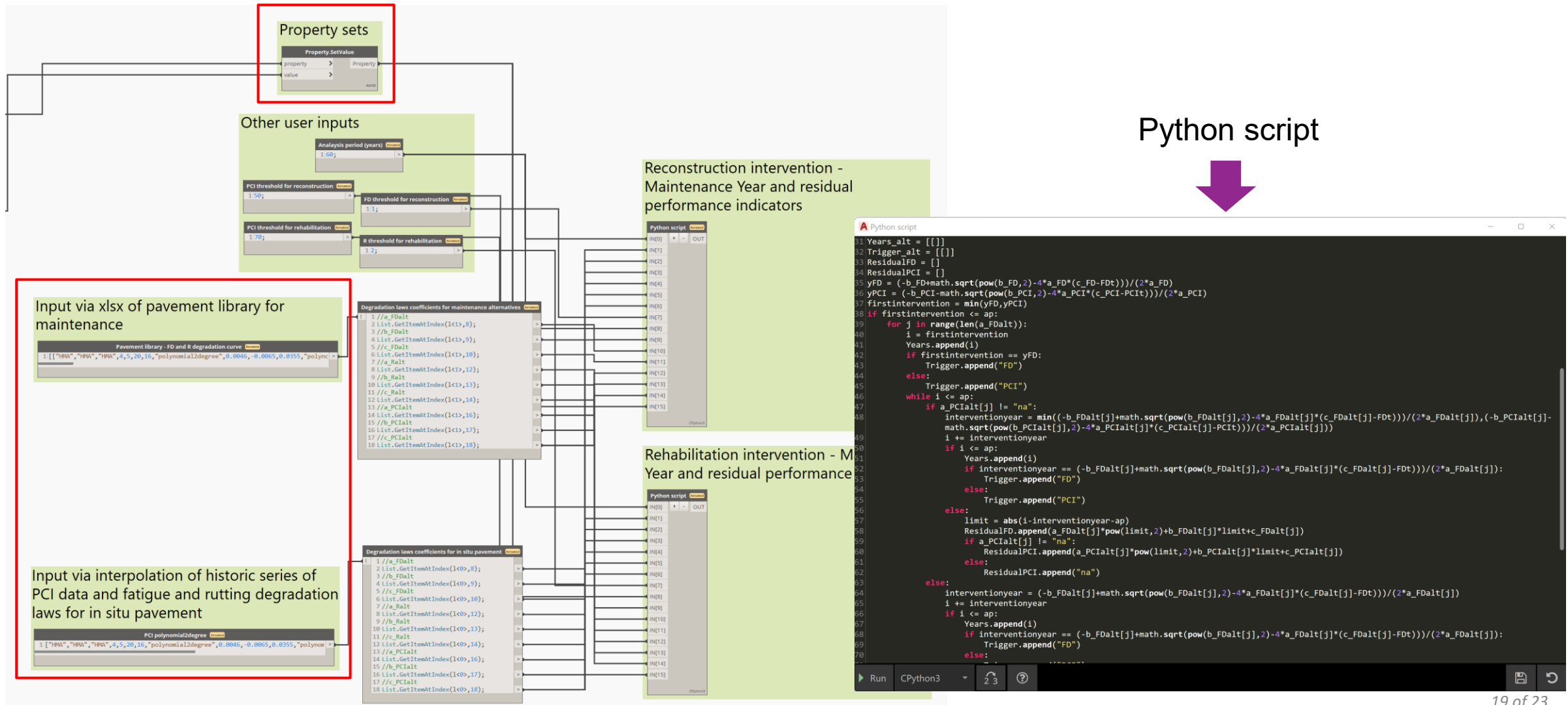
After running the script

The screenshot shows the properties panel for a 'Corridor' object after running the script. The 'LCAIndicators' table is populated with values.

Object Class	Value
A	462.06
CT	706.54
FE	502.82
FECO	275.7
FR	7.45
GWP	74526.77
Handle	90A8023
IR	3643.34
LU	113.98
ME	609110.33
MECO	2965.42
MR	4273.89
NCT	2019.09
ODP	0
OFH	48386.88
OFT	14239.69
PM	216.16
TECO	24173.14
W	553.18

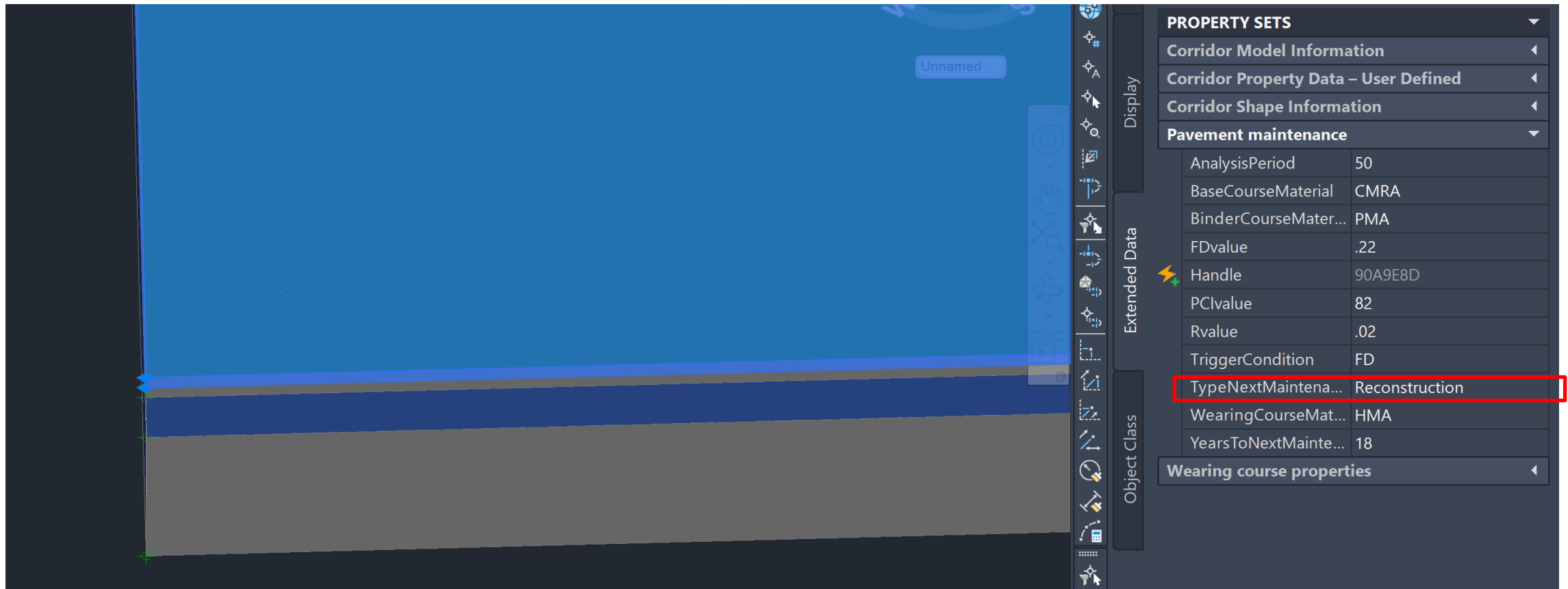
Risultati

3) Script di calcolo del PMS



Risultati

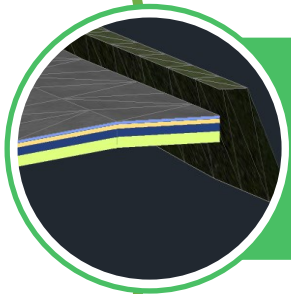
4) Visualizzazione dei risultati del PMS



Considerazioni finali



Formulazione analitica di un piano di gestione della manutenzione stradale che integra il concetto di manutenzione predittiva con la valutazione di indicatori economici e ambientali del ciclo di vita valutati tramite Life Cycle Cost Analysis e Life Cycle Assessment



Elaborazione di modello digitale informatizzato di una pavimentazione stradale

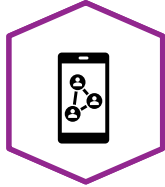


Elaborazione di strumenti di calcolo per la gestione della manutenzione secondo un approccio al ciclo di vita tramite modelli predittivi del degrado delle prestazioni

Bibliografia

- Oreto C., Biancardo S.A., Veropalumbo R., Viscione N., Russo F., Abbondati F., Dell'Acqua G., 2022. BIM-LCCA integration for road pavement maintenance. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 0(0), 1-15. DOI: [10.1177/03611981221074368](https://doi.org/10.1177/03611981221074368). ISSN: 0361-1981.
- Oreto C., Biancardo S.A., Veropalumbo R., Viscione N., Russo F., Abbondati F., Dell'Acqua G., 2022. BIM-LCA Integration Framework for Sustainable Road Pavement Maintenance Practices. *International Journal of Transport Development and Integration*, 6(1): 1-11. DOI: [10.2495/TDI-V6-N1-1-11](https://doi.org/10.2495/TDI-V6-N1-1-11). ISSN: 2058-8305 (print), 2058-8313 (online).
- Biancardo S.A., Oreto C., Viscione N., Russo F., Ausiello, G., Dell'Acqua, G., 2022. Stone pavement analysis using Building Information Modeling. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2676(1): 105-117. DOI: [10.1177/03611981211035751](https://doi.org/10.1177/03611981211035751). ISSN: 0361-1981.
- Russo F., Veropalumbo R., Pontoni L., Oreto C., Biancardo S.A., Viscione N., Pirozzi F., Race M., 2022. Sustainable asphalt mastics made up recycling waste as filler. *Journal of Environmental Management*, 301, 113826. DOI: [10.1016/j.jenvman.2021.113826](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113826). ISSN: 0301-4797.
- Intignano M, Biancardo S.A., Oreto C., Viscione N., Veropalumbo R., Russo F., Ausiello G., Dell'Acqua G., 2021. A Scan-to-BIM Methodology Applied to Stone Pavements in Archaeological Sites. *Heritage*, 4(4): 3032-3049. DOI: [10.3390/heritage4040169](https://doi.org/10.3390/heritage4040169). ISSN: 2571-9408.
- Oreto C., Massotti L., Biancardo S.A., Veropalumbo R., Viscione N., Russo F., 2021. BIM-Based Pavement Management Tool for Scheduling Urban Road Maintenance. *Infrastructures*, 6(11), 148. DOI: [10.3390/infrastructures6110148](https://doi.org/10.3390/infrastructures6110148). ISSN: 2412-3811.
- Oreto C., Biancardo S.A., Viscione N., Veropalumbo R., Russo F., 2021. Roads Pavements Information Modeling through Maintenance Scenarios Evaluation. *Journal of Advanced Transportation*, 8823117. DOI: [10.1155/2021/8823117](https://doi.org/10.1155/2021/8823117). ISSN: 0197-6729 (print), 2042-3195 (online).
- Oreto C., Veropalumbo R., Viscione N., Biancardo S.A., M. Botte, Russo F., 2021. Integration of life cycle assessment into a decision support system for selecting sustainable road asphalt pavement mixtures prepared with waste. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(12): 2391-2407. DOI: [10.1007/s11367-021-01999-7](https://doi.org/10.1007/s11367-021-01999-7). ISSN: 0948-3349 (print), 1614-7502 (online).
- Oreto C., Russo F., Veropalumbo R., Viscione N., Biancardo S.A., Dell'Acqua G., 2021. Life Cycle Assessment of Sustainable Asphalt Pavement Solutions Involving Recycled Aggregates and Polymers. *Materials*, 14(14), 3867. DOI: [10.3390/ma14143867](https://doi.org/10.3390/ma14143867). ISSN: 1996-1944.

Riferimenti



<https://www.linkedin.com/in/sa-biancardo>



salvatoreantonio.biancardo@unina.it



Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale
Università degli Studi di Napoli Federico II
Via Claudio 21, -80125

Salvatore Antonio Biancardo



- *Docente di Infrastructure-Building Information Modeling (I-BIM)*
(CdS in Ingegneria dei Sistemi Idraulici e di Trasporto)
- *Formatore certificato BIM per Infrastrutture*
Cad Connect - Bentley Platinum Channel Partner