

Allegato I – Tutorial del tool Excel

Il tool Excel sviluppato permette l'applicazione delle equazioni presentate nella tesi in modo semplice e veloce.

Come prima cosa, nel foglio denominato “Miscele”, è necessario calcolare gli impatti unitari delle miscele utilizzate nella progettazione. A tale scopo, si deve preventivamente selezionare uno slot di salvataggio tra i nove disponibili, nel quale verranno caricate le informazioni calcolate riguardanti le caratteristiche e gli impatti unitari dei conglomerati bituminosi (Figura 1) (dati di input in rosso).

SELEZIONARE LA MISCELA CHE SI DESIDERA CALCOLARE		Miscela 01
DATI DI PROGETTO DELLE MISCELE		Slot di salvataggio disponibili
Contenuto globale di bitume sulla massa degli aggregati	$P_{b,agg}$	5.8 [%]
Contenuto di RAP sulla massa degli aggregati	RAP	0 [%]
Contenuto di bitume della miscela originale di RAP	$P_{b,RAP}$	5.03 [%]
Percentuale di bitume disponibile per il riciclo	ReB	70 [%]

Figura 1. Selezione dello slot di salvataggio e inserimento dei dati richiesti per il calcolo dell'impatto unitario delle miscele.

Una volta inseriti i dati di ingresso richiesti, il tool calcolerà autonomamente tutti i parametri richiesti dall'equazioni di riferimento (Figura 2).

CALCOLI		Salva risultato
Caratteristiche globali della miscela	$P_{b,agg}$	5.80 [%]
	P_b	5.482 [%]
	P_a	94.518 [%]
Contenuto totale di RAP sulla miscela	P_{RAP}	0 [%]
Contenuto totale di bitume sulla miscela	P_b	5.482 [%]
	di cui	
	Legante di primo impiego	P_{vb}
Legante derivato dal RAP	P_{rb}	0 [%]
Contenuto totale di aggregati sulla miscela	P_a	94.518 [%]
	di cui	
	Aggregati di primo impiego	P_{VINA}
Aggregati derivati dal RAP	P_{RA}	0 [%]
Caratteristiche della miscela di RAP	$P_{b,RAP}$	5.03 [%]
	$P_{a,RAP}$	0 [%]
	$P_{RB,RAP}$	70 [%]
Impatto unitario della miscela	GWP_{UBM}	58.522 [kgCO ₂ eq]
Impatto della miscela tradizionale omologa	GWP_{UBM}^{noRAP}	58.522 [kgCO ₂ eq]
Guadagno totale	G_{pr}	0 [kgCO ₂ eq]
	di cui	
	Mancato uso di aggregati vergini	$G_{pr,a}$
Mancato uso di bitume vergine	$G_{pr,b}$	0 [kgCO ₂ eq]

Figura 2. Calcoli eseguiti dal tool relativi all'impatto unitario delle miscele bituminose.

A questo punto, cliccando su “salva risultato” (Figura 2) e confermando dal messaggio pop-up che ne segue, i dati appena calcolati, associati ad una specifica miscela, vengono salvati nel database del tool (Figura 3), sovrascrivendo quelli già presenti nello stesso slot di salvataggio.

Reset OUTPUT		SOMMARIO DELLE MISCELE E DEI RISULTATI								
Miscela 01	58.522 [kgCO ₂ eq]	p _{b1}	5.482	[%]	p _{vb1}	5.482	[%]	RAP	0	[%]
Miscela 02	55.223 [kgCO ₂ eq]	p _{b2}	5.033	[%]	p _{vb2}	4.365	[%]	RAP	20	[%]
Miscela 03	54.329 [kgCO ₂ eq]	p _{b3}	4.58	[%]	p _{vb3}	3.908	[%]	RAP	20	[%]
Miscela 04	57.122 [kgCO ₂ eq]	p _{b4}	4.762	[%]	p _{vb4}	4.762	[%]	RAP	0	[%]
Miscela 05	54.166 [kgCO ₂ eq]	p _{b5}	4.762	[%]	p _{vb5}	3.969	[%]	RAP	25	[%]
Miscela 06	53.265 [kgCO ₂ eq]	p _{b6}	4.306	[%]	p _{vb6}	3.509	[%]	RAP	25	[%]
Miscela 07	56.236 [kgCO ₂ eq]	p _{b7}	4.306	[%]	p _{vb7}	4.306	[%]	RAP	0	[%]
Miscela 08	52.851 [kgCO ₂ eq]	p _{b8}	4.306	[%]	p _{vb8}	3.442	[%]	RAP	30	[%]
Miscela 09	51.941 [kgCO ₂ eq]	p _{b9}	3.846	[%]	p _{vb9}	2.978	[%]	RAP	30	[%]

Figura 3. Database del tool delle miscele inserite

Spostandosi nel foglio denominato “Costruzione”, è possibile, innanzi tutto, stabilire in quale dei tre slot di salvataggio si abbia intenzione di caricare la soluzione (Figura 4).

SELEZIONARE LA SOLUZIONE CHE SI DESIDERA CALCOLARE	Soluzione 02
--	--------------

Figura 4. Selezione dello slot di salvataggio per la soluzione in fase di calcolo.

Una volta selezionato lo slot, si inseriscono i dati associati alla soluzione costruttiva in analisi, in termini di dati geometrici della sezione e delle caratteristiche proprie dell'emulsione bituminosa (Figura 5 e Figura 6).

DATI GEOMETRICI		
h _{USURA}	0.04	[m]
h _{COLLEGAMENTO}	0.06	[m]
h _{BASE}	0.1	[m]

Figura 5. Dati di input geometrici della sezione in analisi.

DATI EMULSIONI BITUMINOSE			
	DS [kg/m ²]	%BR	GWP _{u, BE}
Ancoraggio	1.0	55	142.69
Attacco	0.3	60	142.69

Figura 6. Dati di input dell'emulsione bituminosa usata nella sezione in analisi.

Si assegna, a questo punto, tra quelle calcolate precedentemente, una miscela ad ogni strato della pavimentazione, specificando le caratteristiche di contenuto dei vuoti della miscela ideale e di livello di compattazione raggiunto in cantiere (Figura 7):

DATI MISCELE E STATO DI COMPATTAZIONE					
	Miscela	%v		%Comp.	
Usura	Miscela 02	5.00	[%]	98	[%]
Collegamento	Miscela 05	4.00	[%]	98	[%]
Base	Miscela 08	4.00	[%]	98	[%]

Figura 7. Selezione delle miscele e specifica delle caratteristiche di compattazione.

Rimangono quindi da inserire le caratteristiche dei mezzi d'opera (in termini di produzione oraria) e le distanze di trasporto che interessano i materiali utilizzati (Figura 8 e Figura 9).

ASSEGNAZIONE DELLE PRODUZIONI ORARIE				
	s1	s2	s3	
Binder sprayer	3.6	2	2	[m ³ /h]
Vibrofinitrice	326.3	217.5	217.5	[ton/h]
Rullo dinamico	125	125	125	[m ³ /h]
Rullo pneumatico	139.3	139.3	139.3	[m ³ /h]
Rullo statico	200	200	200	[m ³ /h]

Figura 8. Produzioni orarie dei mezzi d'opera.

DEFINIZIONE DELLE DISTANZE			
Raffineria-Impianto (bitume)	D _b	230	[km]
Raffineria-Cantiere (emulsione)	D _{BE}	283.6	[km]
Cava-Impianto (aggregati)	D _{VNA}	3	[km]
Centro di riciclaggio-Impianto (RAP)	D _{RAP}	30	[km]
Impianto-Cantiere (Conglomerato)	D _{BM}	53.6	[km]

Figura 9. Distanze di trasporto.

Il tool, automaticamente, riporterà un riepilogo delle caratteristiche della sezione e delle caratteristiche delle miscele (Figura 10 e Figura 11). Verranno inoltre forniti i dettagli dei calcoli eseguiti sul metro quadro di pavimentazione (Figura 12). Cliccando, dunque, su “Salva soluzione”, il tool caricherà le informazioni relative alla soluzione calcolata sul report (contenuto nel foglio “Soluzioni”), di cui si riporta un esempio in Figura 13.

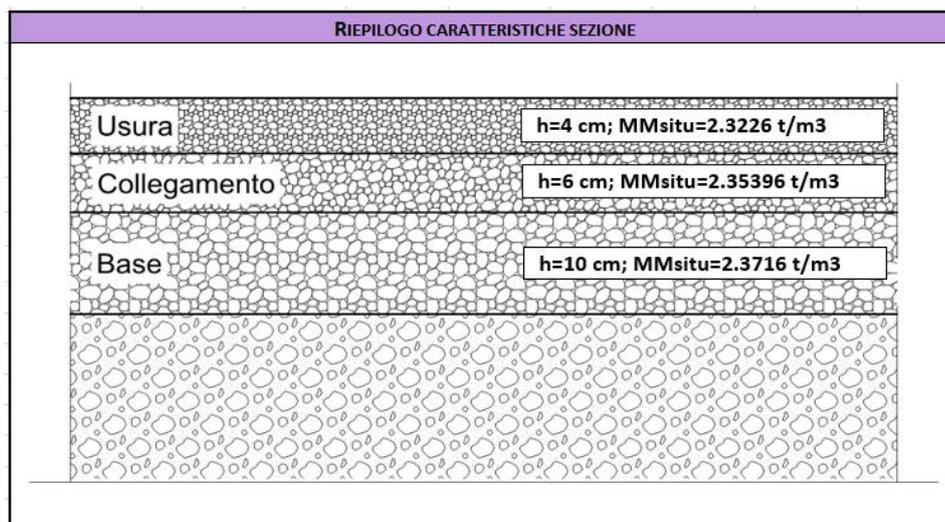


Figura 10. Caratteristiche della sezione inserita.

RIEPILOGO CARATTERISTICHE MISCELE					
GWP _{uBM} [kgCO ₂ eq/t]	P _b [%]	P _{Vb} [%]	RAP [%]	MMVT [t/m ³]	MM _{situ} [t/m ³]
55.223	5.033	4.365	20	2.495	2.323
54.166	4.762	3.969	25	2.502	2.354
52.851	4.306	3.442	30	2.521	2.372

Figura 11. Caratteristiche delle miscele scelte.

CALCOLI		Salva soluzione
Totale pavimentazione	GWP_u	32.383 [kgCO₂eq/m²]
<i>Strato di usura</i>	GWP_{usura}	6.539 [kgCO₂eq/m²]
<i>Impatto associato alla fase di produzione dei materiali da costruzione</i>		
<i>Conglomerato</i>	GWP_{M,BM}	5.136 [kgCO ₂ eq/m ²]
<i>Emulsione</i>	GWP_{M,BE}	0.071 [kgCO ₂ eq/m ²]
<i>Impatto associato alle fasi di trasporto</i>		
<i>Conglomerato</i>	GWP_{T,BM}	0.815 [kgCO ₂ eq/m ²]
<i>Emulsione</i>	GWP_{T,BE}	0.023 [kgCO ₂ eq/m ²]
<i>Materie prime</i>	GWP_{T,RM}	0.275 [kgCO ₂ eq/m ²]
<i>Impatto associato alla fase di costruzione</i>		
<i>Coating</i>	GWP_{C,c}	0.037 [kgCO ₂ eq/m ²]
<i>Laying</i>	GWP_{C,l}	0.063 [kgCO ₂ eq/m ²]
<i>Roller compaction</i>	GWP_{C,r}	0.119 [kgCO ₂ eq/m ²]

Figura 12. Dettagli di calcolo.

SOLUZIONE 01												
Totale pavimentazione	GWP_u	33.465 [kgCO_{2eq}/m²]	CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE <table border="1"> <tr> <td>h_{USURA}</td> <td>0.04</td> <td>[m]</td> </tr> <tr> <td>h_{COLLEGAMENTO}</td> <td>0.06</td> <td>[m]</td> </tr> <tr> <td>h_{BASE}</td> <td>0.10</td> <td>[m]</td> </tr> </table>	h_{USURA}	0.04	[m]	h_{COLLEGAMENTO}	0.06	[m]	h_{BASE}	0.10	[m]
h_{USURA}	0.04	[m]										
h_{COLLEGAMENTO}	0.06	[m]										
h_{BASE}	0.10	[m]										
Strato di usura	GWP_{usura}	6.734 [kgCO_{2eq}/m²]										
<i>Impatto associato alla fase di produzione dei materiali da costruzione</i>												
Conglomerato	GWP_{M,BM}	5.384 [kgCO _{2eq} /m ²]										
Emulsione	GWP_{M,BE}	0.071 [kgCO _{2eq} /m ²]										
<i>Impatto associato alle fasi di trasporto</i>												
Conglomerato	GWP_{T,BM}	0.806 [kgCO _{2eq} /m ²]										
Emulsione	GWP_{T,BE}	0.023 [kgCO _{2eq} /m ²]										
Materie prime	GWP_{T,RM}	0.232 [kgCO _{2eq} /m ²]										
<i>Impatto associato alla fase di costruzione</i>												
Coating	GWP_{C,c}	0.037 [kgCO _{2eq} /m ²]										
Laying	GWP_{C,l}	0.062 [kgCO _{2eq} /m ²]										
Roller compaction	GWP_{C,r}	0.119 [kgCO _{2eq} /m ²]										
Strato di collegamento	GWP_{colleg.}	10.012 [kgCO_{2eq}/m²]	STRATO DI USURA Ecologica MISCELA Miscela 01 Impatto unitario 58.522 [kgCO _{2eq} /t] Contenuto di bitume totale (%p_b) 5.482 [%] Contenuto di bitume vergine (%p_{vb}) 5.482 [%] Contenuto di RAP (RAP) 0 [%] Massima Massa Volumica Teorica 2.476 [t/m ³] % vuoti in laboratorio (%v) 5.00 [%] Massima Volumica in situ (MV_{situ}) 2.30496 [t/m ³] % di compattazione stimata 98 [%]									
<i>Impatto associato alla fase di produzione dei materiali da costruzione</i>												
Conglomerato	GWP_{M,BM}	8.054 [kgCO _{2eq} /m ²]										
Emulsione	GWP_{M,BE}	0.071 [kgCO _{2eq} /m ²]										
<i>Impatto associato alle fasi di trasporto</i>												
Conglomerato	GWP_{T,BM}	1.236 [kgCO _{2eq} /m ²]										
Emulsione	GWP_{T,BE}	0.023 [kgCO _{2eq} /m ²]										
Materie prime	GWP_{T,RM}	0.318 [kgCO _{2eq} /m ²]										
<i>Impatto associato alla fase di costruzione</i>												
Coating	GWP_{C,c}	0.037 [kgCO _{2eq} /m ²]										
Laying	GWP_{C,l}	0.095 [kgCO _{2eq} /m ²]										
Roller compaction	GWP_{C,r}	0.178 [kgCO _{2eq} /m ²]										
Strato di base	GWP_{colleg.}	16.719 [kgCO_{2eq}/m²]	STRATO DI COLLEGAMENTO Ecologica MISCELA Miscela 04 Impatto unitario 57.122 [kgCO _{2eq} /t] Contenuto di bitume totale (%p_b) 4.762 [%] Contenuto di bitume vergine (%p_{vb}) 4.762 [%] Contenuto di RAP (RAP) 0 [%] Massima Massa Volumica Teorica 2.502 [t/m ³] % vuoti in laboratorio (%v) 4.00 [%] Massima Volumica in situ (MV_{situ}) 2.35396 [t/m ³] % di compattazione stimata 98 [%]									
<i>Impatto associato alla fase di produzione dei materiali da costruzione</i>												
Conglomerato	GWP_{M,BM}	13.328 [kgCO _{2eq} /m ²]										
Emulsione	GWP_{M,BE}	0.257 [kgCO _{2eq} /m ²]										
<i>Impatto associato alle fasi di trasporto</i>												
Conglomerato	GWP_{T,BM}	2.078 [kgCO _{2eq} /m ²]										
Emulsione	GWP_{T,BE}	0.083 [kgCO _{2eq} /m ²]										
Materie prime	GWP_{T,RM}	0.495 [kgCO _{2eq} /m ²]										
<i>Impatto associato alla fase di costruzione</i>												
Coating	GWP_{C,c}	0.074 [kgCO _{2eq} /m ²]										
Laying	GWP_{C,l}	0.107 [kgCO _{2eq} /m ²]										
Roller compaction	GWP_{C,r}	0.297 [kgCO _{2eq} /m ²]										
SALVA												

Figura 13. Report di calcolo.

Cliccando su “Salva”, verrà stampato in pdf un file dal titolo “GWP_Tool_Soluzione#.pdf” nella cartella documenti del PC.