

Modello reologico di Huet-Sayegh e Huet-Sayegh modificato

Il modello reologico di **Huet-Sayegh** (Figura 1) combina due molle in parallelo con una delle due disposta in serie con due smorzatori di tipologia diversa da quelli lineari utilizzati finora.

Lo **smorzatore parabolico** (Figura 2) ha il vantaggio di poter essere regolato nel comportamento facendo prevalere il comportamento elastico o viscoso a seconda delle necessità, il che lo rende particolarmente versatile per lo studio di materiali visco-elastici. Le tensioni all'interno dello smorzatore parabolico vengono definite dalla seguente equazione differenziale frazionaria:

$$\sigma(t) = \eta \tau^{m-1} \Omega^m \{\varepsilon(t)\}$$

Dove η , τ sono parametri di definizione dello smorzatore parabolico mentre $\Omega^m \{\varepsilon(t)\}$ è l'**operatore differenziale** pari a $\partial^m / \partial t^m$. Il parametro m può variare nell'intervallo $[1,0]$, dove se assume valore nullo lo smorzatore parabolico si comporta come una molla mentre se assume valore unitario assume il comportamento di uno smorzatore.

Il modello di Huet-Sayegh è stato modificato per simulare meglio il comportamento viscoso dei materiali con l'aggiunta di uno smorzatore in serie. Questo modello prende il nome di Huet-Sayegh modificato (Figura 3), la cui *compliance function* definita per il dominio delle frequenze:

$$D(\omega)_{MHS} = \frac{G'}{|G^*|^2} - i \left[\frac{G''}{|G^*|^2} + \frac{1}{\eta_3 \omega} \right]$$

Con:

$$G' = G_0 + A \frac{G_\infty - G_0}{A^2 + B^2} \quad ; \quad G'' = B \frac{G_\infty - G_0}{A^2 + B^2}$$

$$\begin{cases} A = 1 + \delta_1 \frac{\cos(m_1(\pi/2))}{(\omega\tau)^{m_1}} + \delta_2 \frac{\cos(m_2(\pi/2))}{(\omega\tau)^{m_2}} \\ B = \delta_1 \frac{\sin(m_1(\pi/2))}{(\omega\tau)^{m_1}} + \delta_2 \frac{\sin(m_2(\pi/2))}{(\omega\tau)^{m_2}} \end{cases}$$

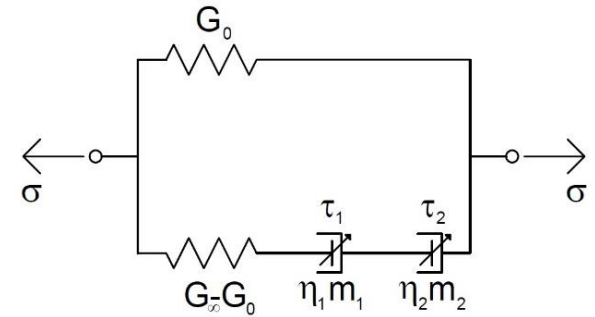


Figura 1. Modello HS

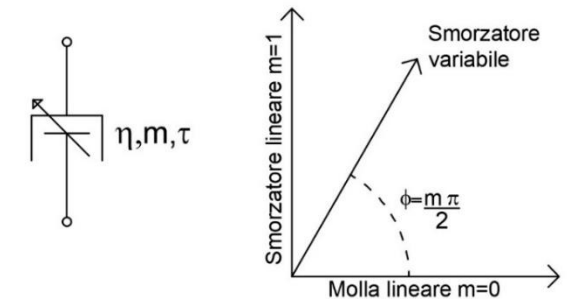


Figura 2. Smorzatore parabolico

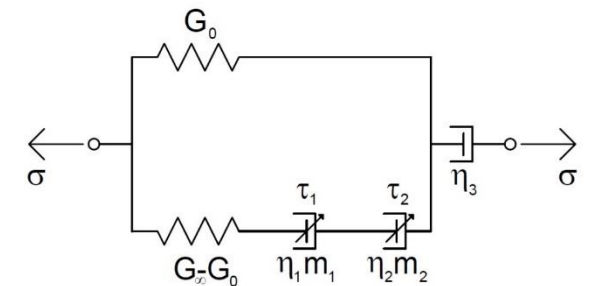


Figura 3. Modello MHS

Il conglomerato bituminoso

Il conglomerato bituminoso è formato da un mix di legante e aggregato minerale. Il legante utilizzato è il bitume e può essere considerato come una colla che lega le parti grossolane del mix, l'inerte. La parte di legante costituisce tra il 4 e l'8 per cento del peso totale e dal 9 al 18 per cento di volume totale. Gli aggregati minerali invece costituiscono la restante parte del peso, mentre costituiscono dal 78 al 87 per cento del volume in quanto la restante parte, il 3-6 per cento, è costituita da vuoti d'aria.

Dal punto di vista meccanico il comportamento viene definito dal legante che è molto sensibile alle **temperature**. Infatti l'asfalto assume comportamenti diversi a seconda delle temperature a cui è sottoposto:

- Temperature minori di -20°C . Comportamento prevalentemente elasto-fragile.
- Temperature tra i -20°C e i 10°C . Comportamento prevalentemente visco-elastico.
- Temperature tra i 40°C e i 60°C . Comportamento prevalentemente visco-plastico.
- Temperature maggiori dei 100°C . Comportamento simile ad un fluido viscoso.

Ci si concentrerà sul comportamento meccanico visco-elastico.





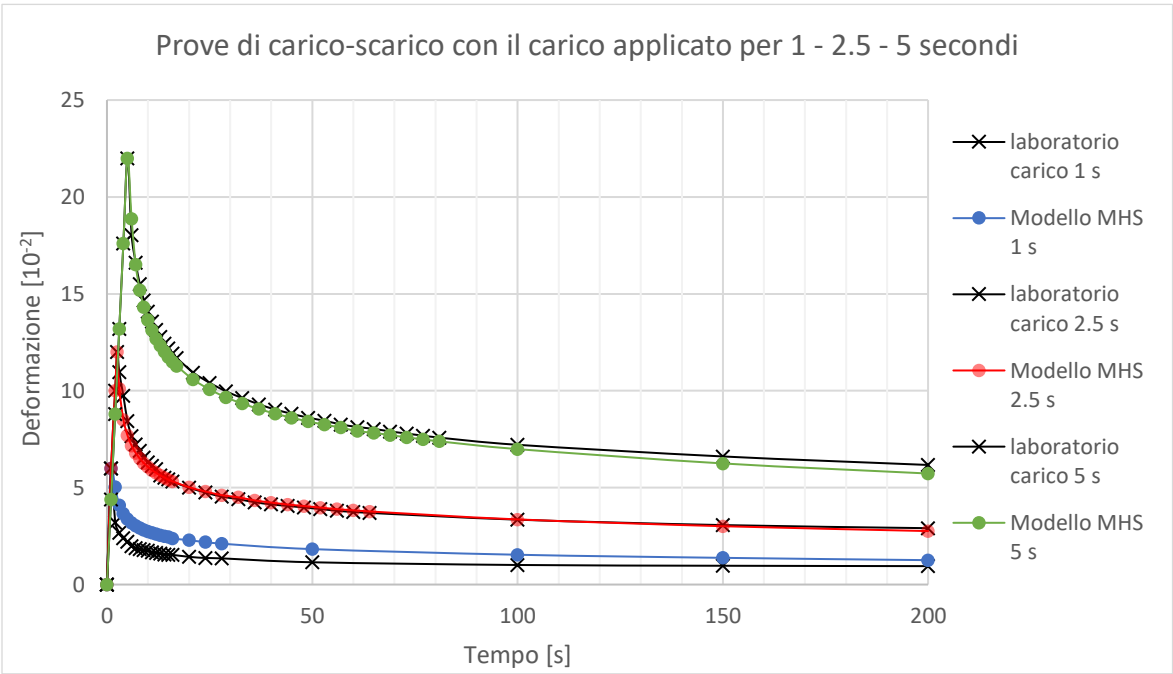
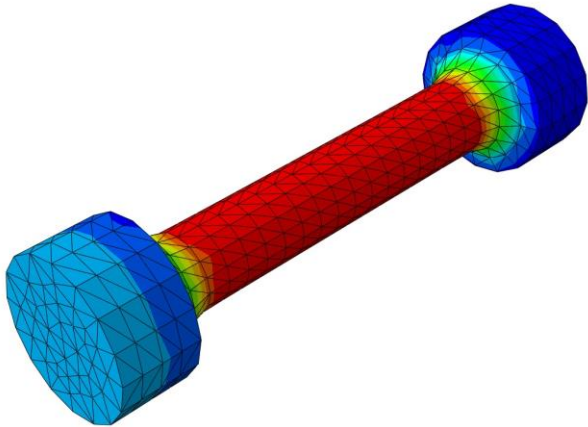
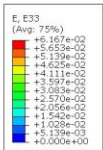
Calibrazione del modello MHS

Per confermare la validità del modello lo si va a confrontare con dei test in laboratorio trovati in letteratura. Nello specifico si è scelto il test fatto da Ossa et al. nel 2005. Questo test va a caricare con una pressione costante il provino di bitume, alla temperatura di 10 °C, per tre periodi di tempo: 1 secondo, 2.5 secondi e 5 secondi. Dopo questo periodo di carico il provino viene lasciato a riposo per 200 secondi e se ne studia il recupero viscoso della deformazione. Le deformazioni massime che si andranno toccare durante la fase di carico sono di: 0.06, 0.12 e 0.22.

Il provino viene modellato in ABAQUS osservando le indicazioni presentate dall'autore del test. Presenta la classica forma a clessidra dei test di trazione con una parte centrale di forma cilindrica con una sezione del diametro 20 millimetri ed un'altezza di 80 millimetri e due rigonfiamenti sulle basi per i vincoli e per i carichi.

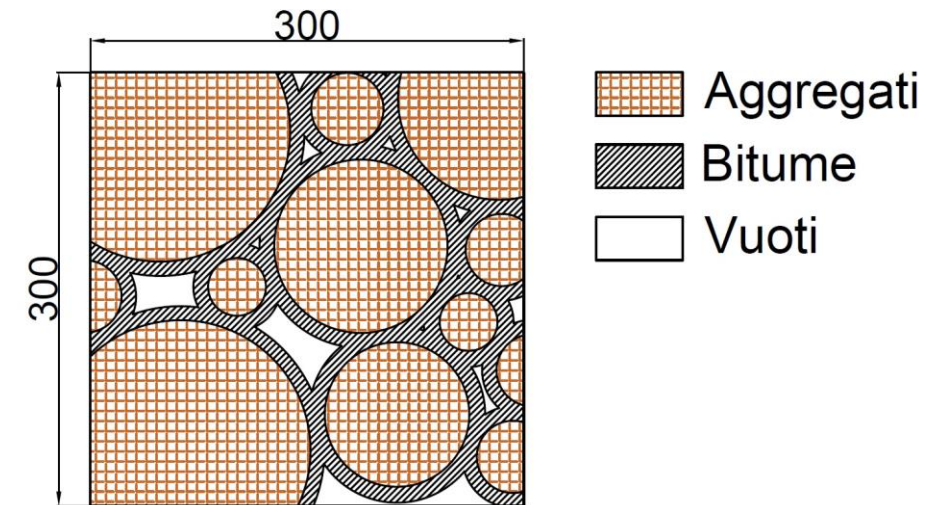
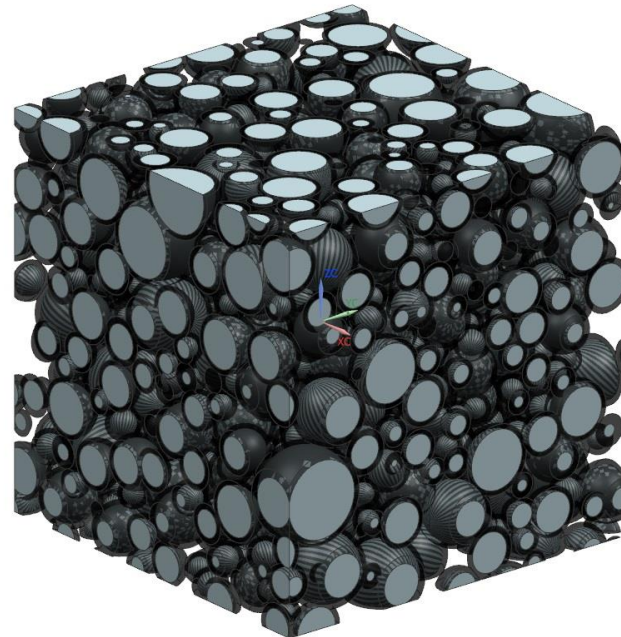
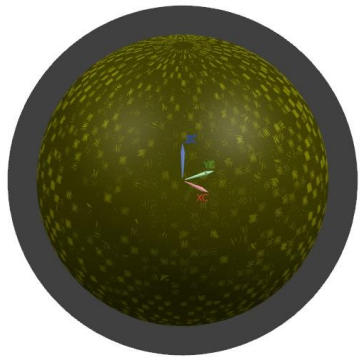
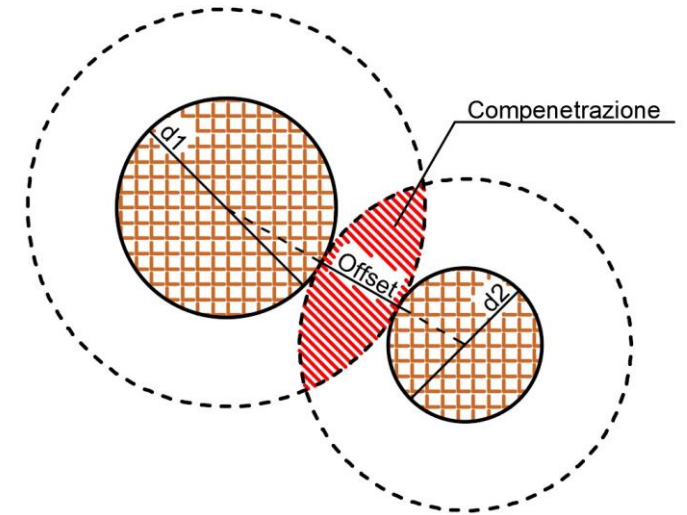
I parametri trovati sono:

m_1	m_2	d	t [s]	E_∞ [MPa]	E_0 [MPa]	h_3 [MPa]	K [MPa]	n
0.77	0.08	0.85	2	45137	57.93	1.21E+09	15000	0.35



Creazione del modello in mesoscala – Creazione della geometria

L'algoritmo di randomizzazione restituisce un file in *visual basic* che è stato usato per generare la geometria degli aggregati nello spazio. Per creare la geometria è necessario prima creare una serie di elementi sferici con il *software di disegno*, dello stesso diametro utilizzato nell'algoritmo di randomizzazione, quindi, una volta create tutte le sfere necessarie è sufficiente far leggere al programma di disegno l'*output* dell'algoritmo di randomizzazione per creare la geometria tridimensionale degli aggregati nel volume. Per creare il modello tridimensionale del bitume è stato sufficiente sfruttare la possibilità dell'algoritmo di randomizzazione di fissare un offset, cioè una distanza minima tra aggregato ed aggregato. Andando a creare attorno ad ogni aggregato uno spessore pari all'offset è stato sufficiente, una volta posizionati tutti gli aggregati nello spazio utilizzare



Test sul modello in mesoscala

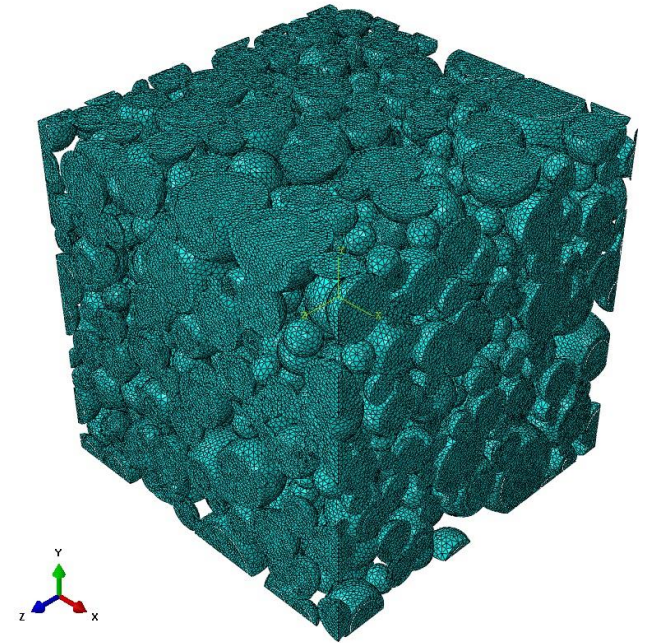
Il test si compone da 3 cicli di **carico-scarico**. La fase di carico dura 60 secondi mentre la fase di scarico ha una durata di 180 secondi per una durata totale dell'analisi di 240 secondi

Il modello numerico ha richiesto un'altra fase di ricalibrazione dei parametri di definizione del comportamento viscoelastico del bitume, i parametri definiti:

m_1	m_2	d	t [s]	E_∞ [MPa]	E_0 [MPa]	h_3 [MPa]	K [MPa]	n
0.77	0.08	0.85	2	45137	57.93	1.21E+09	15000	0.35

Mentre gli aggregati si è posto che gli aggregati fossero di natura basaltica con modulo di Young 100000 MPa e coefficiente di Poisson di 0.3

Il modello FEM è composto da un provino di dimensioni 80x80x80 mm discretizzato con elementi tetraedrici lineari per un numero di 2394333 e una quantità di nodi di 629783



Risultati analisi – Stato tensionale

