



UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA STRUTTURALE

*Dottorato in Ingegneria delle Strutture*

*Stefano Bennati (Presidente del Corso)*

*Via Diotisalvi, 2 – I 56126 PISA*

*Tel. +39 050 835711 – Fax +39 050 554597*

*E-mail: s.bennati@ing.unipi.it*

## AVVISO DI SEMINARIO

Nell'ambito delle iniziative promosse  
dal *Corso di Dottorato in Ingegneria delle Strutture*  
e dal curriculum in *Ingegneria Strutturale*  
del *Corso di Dottorato in Scienze e Tecniche dell'Ingegneria Civile*,

**lunedì 9 ottobre alle ore 16.00**

il Prof. **Gianni Royer-Carfagni**, dell'*Università di Parma*,

terrà un seminario dal titolo

### **Un'applicazione pratica del modello di frattura (rivisitato) di Bourdin, Francfort e Marigo: lo studio del degrado nel Panthéon Francese a Parigi \***

**Sommario.** Le superfici di frattura che si possono osservare nella muratura in pietra da taglio del Panthéon Francese sono così particolari e ripetitive da poter essere considerate sintomi di una particolare forma di degrado. I difetti principali sono stati osservati in due tipi di elementi: i) nei conci in pietra che formano le volte e le cupole dell'edificio, originariamente rinforzati da grappe (*agrafes*) in ferro; ii) nei quattro piloni che sorreggono la cupola principale. Il danneggiamento dei conci delle cupole è ricollegabile agli sforzi di contatto con le grappe metalliche, ma è tuttora oggetto di discussione se tali sforzi siano provocati dall'espansione del ferro per ossidazione, oppure dal tiro delle grappe stesse, messe in tensione in quanto elementi di cerchiatura per le cupole. Le crepe nei piloni sono state invece storicamente attribuite alle concentrazioni di tensione trasmesse da cunei in legno duro di quercia, inseriti come distanziatori nei commenti di malta per regolarizzarne lo spessore.

Per cercare di riprodurre percorsi di frattura così caratteristici, viene proposto un modello variazionale per lo propagazione quasistatica ed irreversibile delle fessure. Il modello è analogo a quello originariamente suggerito (come approssimante del funzionale alla Griffith) da Bourdin Francfort e Marigo [*J. Mech. Phys. Solids*, 48, 2000], ma sostanzialmente rivisto nella scelta dell'espressione dell'energia. In tal modo, si vuole cercare di riprodurre la formazione di bande di taglio che, seguendo il criterio di crisi locale di von Mises, si uniscano in fratture dominanti che si aprono in modo II. Si presentano esperimenti numerici per tre casi paradigmatici: l'espansione delle grappe (per l'ossidazione del ferro), il tiro delle grappe, o il contatto dei cunei in legno.

Una volta inseriti opportuni parametri che descrivono le proprietà meccaniche del materiale lapideo, questo studio porta alle conclusioni seguenti. Il tiro delle grappe è associato ad un percorso di frattura sorprendentemente simile a quello osservato in situ. Anche l'espansione per ossidazione del ferro potrebbe provocare la rottura della pietra, ma il corrispondente schema di fessurazione non quadra con quanto rilevabile nell'edificio. Infine, l'analisi quantitativa degli effetti della pressione localizzata dei cunei di legno indica che tale effetto avrebbe potuto facilmente danneggiare i pilastri, anche molto prima del completamento della cupola (così come in effetti è stato documentato storicamente). Il confronto con i risultati ottenibili con il modello originale di Francfort e Marigo evidenzia come, nel meccanismo di degrado del Panthéon, sia fondamentale il ruolo svolto dalle deformazioni a taglio.

Referenti dell'invito: Stefano Bennati e Paolo S. Valvo.

Il seminario sarà tenuto nella sala riunioni del DIS.

Pisa, 20 settembre 2006

Il Coordinatore del Corso di Dottorato  
(Prof. Stefano Bennati)

\* Questo studio è stato svolto nell'ambito di un programma di ricerca più generale, commissionato dal Ministero Francese della Cultura e della Comunicazione e coordinato dal Prof. Arch. Carlo Blasi, dell'Università di Parma. Il lavoro è stato svolto in collaborazione con Giovanni Lancioni, dell'Università Politecnica delle Marche.