

# Curriculum Vitae

## INFORMAZIONI PERSONALI

**Nome** ANTONINO  
**Cognome** SPADA  
**Recapiti** DICAM - Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale e dei Materiali  
**Telefono** 091-23896723  
**E-mail** antonino.spada@unipa.it

## FORMAZIONE TITOLI

- Abilitato all'esercizio della professione di ingegnere nella sessione di Settembre 2005 e iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Trapani dal 2006 al n. 1396.
- Studi dottorali in Ingegneria delle Strutture presso il Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica dell'Università di Palermo e presso il Department of Civil and Environmental Engineering della Università di Pittsburgh (Pennsylvania – USA), Gennaio 2006 - Dicembre 2008.
- Dottore di Ricerca in Ingegneria delle Strutture, a seguito di giudizio unanime della commissione "fortemente positivo" sul lavoro di ricerca sviluppato, riportato nella tesi dal titolo: "Mesoscopic modeling of quasi-brittle materials. Theoretical studies, computational and experimental applications", Aprile 2009.
- Vincitore del concorso per il conseguimento di un assegno di ricerca biennale dal titolo "Analisi dell'interazione di solidi deformabili con modelli di interfaccia/interfase" presso il Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Aerospaziale e Geotecnica dell'Università di Palermo, Giugno 2009.
- Rinnovo dell'assegno di ricerca per un ulteriore biennio, presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Aerospaziale dell'Università di Palermo, Giugno 2011.
- Nominato cultore delle materie del settore scientifico-disciplinare ICAR/08 – Scienza delle Costruzioni – dal Consiglio di interclasse dei corsi di studio in Ingegneria dell'Edilizia e dell'Architettura della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Palermo, Giugno 2011.
- Vincitore di selezione pubblica per un posto di ricercatore a tempo determinato e parziale nel settore ICAR/08 – Scienza delle Costruzioni, presso l'Università di Palermo, Dicembre 2012.
- In servizio presso il DICAM – Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale e dei Materiali dal 20/12/2012.

## ATTIVITA' DIDATTICA

- Collaborazione alle attività didattiche (esercitazioni) del corso di Scienza delle Costruzioni tenuto dal Prof. S. Rizzo per il corso di laurea in Ingegneria Civile, presso la Facoltà di Ingegneria di Palermo, anno accademico 2006-2007.
- Collaborazione alle attività didattiche (esercitazioni) del corso di Scienza delle Costruzioni tenuto dal Prof. G. Giambanco per il corso di laurea specialistica in Ingegneria Edile-Architettura, presso la Facoltà di Ingegneria di Palermo, anni accademici 2009-2010, 2010-2011, 2011-2012, 2012-2013.

- Collaborazione alle attività didattiche (esercitazioni) del corso di Scienza delle Costruzioni tenuto dal Prof. G. Giambanco per il corso di laurea in Ingegneria per l'Ambiente e per il Territorio, presso la Facoltà di Ingegneria di Palermo, anno accademico 2010-2011.
- Collaborazione alle attività didattiche (esercitazioni) del corso di Scienza delle Costruzioni tenuto dal Prof. G. Giambanco per il corso n.o. interfacoltà di Conservazione e Restauro dei Beni Culturali gestito dalla Facoltà di Scienze MM. FF. NN. dell'Università di Palermo, anni accademici 2009-2010, 2010-2011.
- Correlatore di una Tesi di Laurea dal titolo: "Analisi della risposta di costruzioni storiche in muratura con modelli numerici avanzati", a.a. 2011/2012, relatore Prof. Ing. Giuseppe Giambanco.
- Correlatore di una Tesi di Laurea dal titolo: "Analisi non lineare di strutture intelaiate in condizioni sismiche. Progetto di interventi di mitigazione degli effetti e loro inserimento architettonico. Analisi dello stato attuale", a.a. 2011/2012, relatore Prof. Ing. Giuseppe Giambanco.
- Correlatore di una Tesi di Laurea dal titolo: "Analisi non lineare di strutture intelaiate in condizioni sismiche. Progetto di interventi di mitigazione degli effetti e loro inserimento architettonico. Analisi in presenza degli interventi", a.a. 2011/2012, relatore Prof. Ing. Giuseppe Giambanco.

## RICERCHE FINANZIATE

### *Partecipazioni a progetti di ricerca*

[1] PRIN07 progetto 2007YZ3B24 (partecipante): "Multi-scale problems with complex interactions in Structural Engineering", con supporto finanziario MIUR.

[2] PRIN09 progetto B71J11000610001 (partecipante): "Modellazione multi-scala di materiali e strutture". Titolo Unità di Ricerca di Palermo: "Un approccio multi-scala per l'analisi dei processi di decoesione e di propagazione della frattura", cofinanziato MIUR.

## PUBBLICAZIONE

### **A - Pubblicazioni su riviste internazionali ISI**

[1] **A. Spada**, G. Giambanco, P. Rizzo, "Damage and plasticity at the interfaces in composite materials and structures", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, vol. 198, pp. 3884 – 3901, 2009.

[2] P. Rizzo, **A. Spada**, S. Degala, G. Giambanco. "Acoustic emission monitoring of chemically bonded anchors", Journal of Nondestructive Evaluation, vol. 29, pp. 49-61, 2010.

[3] **A. Spada**, G. Giambanco, P. Rizzo, "Elastoplastic Damaging Model for Adhesive Anchor Systems. Part I: Theoretical Formulation and Numerical Implementation", Journal of Engineering Mechanics (ASCE), vol. 137 n. 12, pp. 854-861, 2011.

[4] **A. Spada**, P. Rizzo, G. Giambanco, "Elastoplastic Damaging Model for Adhesive Anchor Systems. Part II:

Experimental validation”, Journal of Engineering Mechanics (ASCE), vol. 137 n. 12, pp. 862-876, 2011.

[5] G. Giambanco, G. Fileccia Scimemi, **A. Spada**, “The interphase element”, Computational Mechanics, Computational Mechanics, vol. 50 n. 3, pp. 353-366, 2012.

## **B - Pubblicazioni su Atti Convegni/Symposium Internazionali**

[6] P. Rizzo, **A. Spada**, G. Giambanco, “SHM of Chemically Bonded Anchors by means of Acoustic Emission”, Proceedings of the 7th International Workshop on Structural Health Monitoring, Ed. F.-K. Chang, Stanford (CA-USA), 9-11 Settembre 2009.

[7] G. Giambanco, **A. Spada**, G. Fileccia Scimemi, “Meso-modeling of heterogeneous structures via interphase model”, IV European Conference on Computational Mechanics-Solids (ECCM), Paris, France, 16-21 Maggio 2010.

[8] P. Rizzo, M. Tajari, **A. Spada**, “Microphones’ Directivity for the Localization of Sound Sources,” SPIE Defense Security + Sensing Conference, Unattended Ground, Sea, and Air Sensor Technologies and Applications XIII, Orlando, Florida, Proc. SPIE 8046, 804603 (2011); doi:10.1117/12.884626.

[9] G. Giambanco, **A. Spada**, G. Fileccia Scimemi, “The interphase elasto-plastic damaging model applied to masonry structures”, Proceedings of the ECCOMAS 2012 – European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, Vienna (Austria), 10-14 Settembre 2012.

[10] G. Giambanco, G. Fileccia Scimemi, **A. Spada**, “The interphase elasto-plastic damaging model”, Proceedings of the ICF13 – 13th International Conference on Fracture, Beijing (China), 16-21 Giugno 2013.

## **C - Pubblicazioni su Atti di Convegni Nazionali**

[11] **A. Spada**, G. Fileccia Scimemi, G. Giambanco, “The interphase model applied to simulate chemically bonded anchors”, XIX Congresso AIMETA di Meccanica Teorica e Applicata (atti in Cd-Rom), Ancona, 14-17 Settembre, 2009.

[12] **A. Spada**, G. Fileccia Scimemi, G. Giambanco, “The interphase model applied to the meso-modeling of heterogeneous structures”, GIMC 2010-XVIII Convegno italiano di meccanica computazionale, (pp. 1-4, Atti su supporto magnetico), Siracusa, 22-24 Settembre, 2010.

[13] A. Cottone, G. Giambanco, **A. Spada**, “Adhesion strength and effective bond length evaluation in lap joints making use of size effect laws”, GIMC 2010-XVIII Convegno italiano di meccanica computazionale, (pp. 1-4, Atti su supporto magnetico), Siracusa, 22-24 Settembre 2010.

[14] G. Fileccia Scimemi, G. Giambanco, **A. Spada**, “Heterogeneous structures studied by interphase elasto-damaging model”, XX Congresso AIMETA di Meccanica Teorica e Applicata (atti in Cd-Rom), Bologna, 12-15 Settembre, 2011.

## **D – Tesi di Dottorato**

applications” tesi presentata per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria delle Strutture, 2009.  
[13] A. Spada, Mesoscopic modeling of quasi-brittle materials. Theoretical studies, computational and experimental

## ATTIVITA' SCIENTIFICHE

L'attività scientifica è attestata da n° 15 lavori a stampa, tutti pertinenti al settore ICAR/08,

pubblicati su riviste scientifiche internazionali con referee, in atti di congressi nazionali ed

internazionali nei settori della meccanica dei materiali e dell'ingegneria strutturale.

Essa si articola in:

- n.5 lavori su riviste internazionali ISI
- n.5 lavori su atti di congressi internazionali
- n.4 lavori su atti di congressi nazionali
- n.1 Tesi di dottorato di ricerca

Di seguito si fornisce una sintetica descrizione dei principali campi nei quali si è sviluppata

l'attività di ricerca (i numeri fra parentesi si riferiscono ai lavori riportati nell'Elenco delle Pubblicazioni).

**A. Mesomodellazione di strutture eterogenee per mezzo di elementi di interfaccia/interfase (1, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 14).**

Il termine interfaccia, nel campo dell'ingegneria strutturale, indica sia una superficie comune a due regioni del medesimo materiale (ovvero di differente materiale) sia uno strato sottile di materiale interposto fra altri due corpi. Con riferimento al primo significato, si può considerare interfaccia la superficie di contatto fra i blocchi di un ammasso roccioso o fra gli elementi lapidei di una struttura muraria a blocchi con giunti a secco e, ancora, la superficie di contatto fondazione-terreno. Si considerano interfacce anche tutti quegli elementi di spessore sottile che si interpongono nelle strutture come i giunti cementizi

nelle strutture civili e quelli adesivi utilizzati per l'assemblaggio di materiali compositi. La presenza di interfacce condiziona fortemente il comportamento meccanico della struttura sia da un punto di vista cinematico che da quello della resistenza alle azioni esterne. I modi cinematici di apertura/chiusura, di scivolamento e di dilatazione che si verificano all'interfaccia, inoltre, ne modificano la deformabilità. In aggiunta, fenomeni di decoesione e usura delle superfici di contatto condizionano la resistenza dei giunti provocando la riduzione della capacità portante della struttura. Questi fenomeni di natura anelastica in corrispondenza delle superfici di separazione tra due corpi portano ad un comportamento globale di tipo non lineare degli elementi strutturali formati da materiali eterogenei. La difficoltà principale sta nella comprensione dei fenomeni di interazione e l'identificazione dei parametri che li governano al livello delle interfacce. Attraverso modelli costitutivi e tecniche computazionali avanzate è possibile descrivere il comportamento fisico-meccanico di tali materiali e fornire una interpretazione matematica dei fenomeni che in essi si sviluppano. Risulta di particolare importanza, nella scelta del modello da utilizzare, il livello della scala di interesse. La presenza di superfici di discontinuità o di materiali differenti a contatto tra loro suggeriscono l'uso di una scala di interesse di tipo mesoscopica, ossia una scala che permette di considerare la presenza di materiali diversi con le loro dimensioni caratteristiche.

La ricerca sviluppata in questo ambito ha portato alla formulazione di un modello costitutivo di interfaccia elasto-plastico danneggiativo in grado di simulare, a livello mesoscopico, questi fenomeni anelastici che si sviluppano nelle strutture caratterizzate da superfici di discontinuità. Il modello di interfaccia presenta alcuni elementi innovativi rispetto ai modelli reperibili in letteratura. Uno di questi è la suddivisione dell'area dell'interfaccia in due fasi differenti, ossia una parte danneggiata ed una non-danneggiata. E' stata fatta l'ipotesi che la plasticità possa verificarsi in entrambe le fasi, con deformazioni e discontinuità di spostamento separabili in una parte elastica ed una plastica ma medesima discontinuità di spostamento totale. In particolare, nella zona danneggiata, le deformazioni plastiche possono svilupparsi come il risultato di soli effetti attritivi. Per quanto riguarda il danno, questo è stato invece descritto attraverso l'introduzione di una variabile scalare che valuta il rapporto tra l'area della regione danneggiata e quella della regione non danneggiata. Il danno si è considerato di tipo isotropo e dipende dal livello di densità di energia libera accumulata nella parte non danneggiata.

Il modello di interfaccia elastoplastica danneggiativa brevemente descritto è stato formulato in forma differenziale e successivamente riscritto in termini discreti ai fini dell'implementazione in un codice agli elementi finiti per applicazioni rivolte a simulare problemi bidimensionali. E' stato utilizzato il metodo delle differenze all'indietro di Eulero per integrare al passo le leggi costitutive. L'algoritmo è stato diviso in due passi: un primo passo di predizione elastica ed un secondo di correzione plastica e/o danneggiativa.

Per validare il modello sono state effettuate semplici prove numeriche a controllo di spostamento inserendo una singola interfaccia tra due corpi rigidi. Queste prove hanno riguardato i casi semplici di formazione e propagazione della frattura in modo I e II al variare dei parametri coinvolti nel modello. Infine, applicazioni numeriche più avanzate sono state svolte su elementi strutturali costituiti da materiali eterogenei quali la muratura. I risultati sono stati confrontati con dati sperimentali reperibili in letteratura. Le applicazioni numeriche sono state sviluppate con il programma agli elementi finiti "FEAP", nel quale era stato preventivamente implementato il modello di interfaccia proposto. In particolare gli esempi svolti hanno riguardato una parete in muratura soggetta a taglio ed una volta cilindrica in muratura soggetta ad un carico concentrato. In quest'ultimo caso il confronto è stato condotto una volta con struttura non rinforzata ed una seconda volta con struttura rinforzata da una striscia di fibre di carbonio. Per entrambe le tipologie strutturali un buon accordo è stato ottenuto nel confronto tra i dati numerici e quelli sperimentali. Ulteriori test di confronto sono stati effettuati sulla base di risultati sperimentali ottenuti da prove a pull out di barre di acciaio ancorate su provini cilindrici di calcestruzzo per mezzo di resine epossidiche. La validazione del modello ha consistito nella corretta descrizione del processo di sfilamento della barra e del carico massimo letto sperimentalmente. I risultati hanno mostrato la capacità del modello di poter simulare la risposta del sistema eterogeneo calcestruzzo-resina-barra d'acciaio.

In definitiva si può riassumere che un modello di interfaccia è un valido strumento in grado di simulare il comportamento meccanico del giunto attraverso particolari leggi costitutive scritte in termini di tensioni di contatto e spostamenti relativi. In molti casi, tuttavia, la risposta del giunto dipende anche dalle tensioni e deformazioni interne ad esso. Un esempio tipico è l'effetto di confinamento subito da un giunto di malta interposto tra due blocchi rigidi durante un test a compressione. In questo tipo di test infatti diversi risultati si hanno in dipendenza del modulo elastico relativo tra la malta ed il mattone. Quando la malta è più rigida dei mattoni le deformazioni trasversali dei mattoni ottenute per effetto Poisson risultano maggiori rispetto a quelle della malta stessa. Ciò produce, nella malta, in direzione trasversale, uno stato tensionale di trazione mentre i blocchi risentono dell'effetto di confinamento della malta risultando compressi. Viceversa, quando i mattoni sono più rigidi della malta accade l'esatto opposto. La malta infatti tende a deformarsi in direzione trasversale in maniera più elevata rispetto ai mattoni ma questa deformazione viene contrastata dalla maggiore rigidità dei mattoni con il risultato che la malta risulta compressa. I mattoni invece, in corrispondenza delle superfici di discontinuità con la malta, si ritrovano in trazione e ciò può causare la nascita di fratture che si propagano nel mattone a partire dalla superficie di contatto con la malta. Questo genere di effetti può essere catturato soltanto se la risposta include tensioni e deformazioni interne al giunto. In questa direzione lo sviluppo del modello di interfaccia è rappresentato dal modello di interfase. Con il termine di interfase ci si riferisce ad uno strato interposto tra due solidi e separato da questi attraverso due interfacce, ovvero una struttura multistrato con proprietà variabili e diverse interfacce. Dal punto di vista meccanico, il modello di interfase applica una correzione al modello di interfaccia introducendo nell'analisi proprio l'effetto delle tensioni interne oltre a quelle di contatto. Questa distinzione tra tensioni interne e di contatto si traduce nella possibilità di poter introdurre differenti condizioni di crisi per il materiale di cui è costituito il giunto e le superfici di

contatto. Un nuovo elemento finito isoparametrico a quattro nodi è stato implementato all'interno del programma ad elementi finiti con sorgente aperta FEAP. Una particolarità del modello sta nel fatto di poter suddividere la matrice di compatibilità cinematica in due componenti: una tipica di un modello di interfaccia classico, un'altra che tiene conto dei contributi della correzione introdotta nel modello sulle tensioni interne. Le analisi numeriche svolte hanno evidenziato problemi di oscillazioni spurie per gli andamenti delle tensioni tangenziali quando veniva utilizzata la quadratura di Gauss classica. Tale problema è stato superato applicando alternativamente due strategie di integrazione numerica: il metodo dell'integrazione ridotta o selettiva (RSI) ed il metodo dell'arricchimento del campo delle deformazioni (EAS). In una prima fase sono state svolte applicazioni numeriche in campo elastico. Successivamente la sperimentazione numerica ha riguardato il danneggiamento del materiale che costituisce il giunto.

## **B. Il metodo non distruttivo delle emissioni acustiche (2, 3, 4, 6, 8).**

Un ulteriore argomento di ricerca ha avuto ad oggetto il monitoraggio strutturale tramite applicazione di una tecnica di indagine non distruttiva quale quella delle emissioni acustiche. Un'emissione acustica è l'onda elastica generata dal rapido rilascio di energia a partire da una o più sorgenti localizzate all'interno di un materiale. Tale energia è generata dalla formazione e propagazione di fratture o da altre deformazioni plastiche irreversibili. In analogia con la sismologia, le onde elastiche si originano da una sorgente interna al materiale e viaggiano attraverso esso fino ad essere registrate da opportuni sensori posti sulla superficie esterna dell'elemento strutturale.

L'apparecchiatura di cui si avvale il metodo delle emissioni acustiche consiste di diversi strumenti: trasduttori (sensori) di materiale piezoelettrico, che convertono lo spostamento della superficie in un segnale elettrico; preamplificatori, per ampliare il segnale in uscita altrimenti difficile da misurare; un sistema di acquisizione ed un codice di calcolo dedicato che permettono infine la registrazione delle onde e l'immagazzinamento dei parametri fondamentali dell'onda quali il tempo di arrivo, l'ampiezza di picco, la durata, l'energia, il numero di oscillazioni, ecc. L'analisi di questi dati permette di effettuare una correlazione con gli eventi meccanici occorsi. Tale procedura prende il nome di analisi parametrica. Nell'ambito dell'analisi parametrica un esempio tipico è l'osservazione del cosiddetto effetto di 'Kaiser', consistente nell'impossibilità di osservare eventi se non solo dopo che il materiale sperimenta una forza superiore a quella massima che esso aveva subito in passato. Un ulteriore metodo è lo studio del tensore dei momenti con il quale, impiegando un numero minimo di almeno sei sensori, è possibile discriminare tra le diverse sorgenti di danno, attribuendo ad ogni emissione una particolare tipologia di frattura: per taglio, trazione o mista.

Sia l'analisi parametrica che la tecnica del tensore dei momenti sono state applicate durante prove sperimentali a pull-out di barre chimicamente ancorate al calcestruzzo.

Opportuni algoritmi sono stati implementati in MATLAB sia per l'identificazione della sorgente all'interno del materiale, sia per effettuare le suddette analisi sulle emissioni ottenute dalle prove sperimentali.

Provini cilindrici di calcestruzzo sono stati confezionati e lasciati maturare per 28 giorni. Successivamente in ogni cilindro è stato praticato un foro all'interno del quale veniva ancorata una barra d'acciaio per mezzo di resina epossidica. Dopo circa 24 ore dal posizionamento delle barre veniva condotta la prova a pull-out. Ogni provino è stato testato per mezzo di una macchina universale dotata di due traverse, una fissa ed una mobile. I cilindri sono stati resi solidali con la traversa fissa della macchina. La traversa mobile infine sfilava la barra. Sono state misurate la forza applicata e lo spostamento della traversa, mentre la deformazione delle barre d'acciaio veniva rilevata in tre punti diversi: all'interno della zona di ancoraggio, immediatamente al di fuori della zona di ancoraggio, nel punto medio della barra. L'apparecchiatura per il rilevamento delle emissioni acustiche consisteva di sei sensori acustici posizionati sui cilindri di calcestruzzo su due livelli (a cavallo della zona di ancoraggio) e di un sensore posizionato sulla barra d'acciaio. Ogni sensore era accoppiato con un proprio preamplificatore. È stata utilizzata una scheda di acquisizione ad 8 canali ed un pc con apposito software per l'immagazzinamento dei dati. Con questa tecnica è stato possibile identificare le sorgenti delle onde elastiche rilasciate durante lo sfilamento della barra. In particolare, come ci si aspettava, le sorgenti si localizzavano in corrispondenza del giunto di resina. La campagna sperimentale è stata svolta su più provini ed al variare non solo del diametro della barra ma anche della lunghezza di ancoraggio.

### **C. Ulteriori campi di ricerca e di interesse attuali e futuri: i metodi meshless.**

L'analisi alla mesoscala di strutture costituite da materiali eterogenei applicando il metodo degli elementi finiti comporta un onere computazionale crescente quanto più dettagliato è il modello di calcolo. Una alternativa al metodo degli elementi finiti, in forte diffusione nel corso degli ultimi decenni grazie al consistente risparmio in termini di tempi di calcolo e di mancanza di costruzione di una mesh, sono i metodi meshless.

Utilizzando tali metodi, lo scopo principale è quello di giungere ad una analisi multi-scala delle strutture murarie in contrapposizione alla mesomodellazione discussa nel paragrafo A: individuata una cella di volume rappresentativa della muratura si vuole giungere ad un modello semplificato ed omogeneo (da studiare agli elementi finiti) a partire dall'eterogeneità del materiale a livello mesoscopico (affrontata con il metodo meshless).

Allo stato attuale, i primi studi condotti sono stati effettuati in campo elastico e i risultati sono stati riportati in una delle tre Tesi di Laurea di cui lo scrivente è stato correlatore. Sviluppi futuri riguarderanno l'inserimento di leggi anelastiche nel modello.

#### **AMBITI DI RICERCA**

**1) Mesomodellazione di strutture eterogenee per mezzo di elementi di interfaccia/interfase**

**2) Emissioni acustiche**

**3) Metodi meshless**

**4) Analisi multiscala di metamateriali e di strutture costituite da materiali quasi-fragili**

**5) Metodi ibridi per l'analisi di fenomeni di scattering di onde ultrasoniche guidate**

**6) Analisi nonlineari di telai con elementi aventi discontinuità rotazionali**

**7) Analisi VEM**