



## MINISTERO DELL'ISTRUZIONE, DELL'UNIVERSITA' E DELLA RICERCA

### Programmi di ricerca cofinanziati - Modello E Relazione scientifica conclusiva sui risultati di ricerca ottenuti - ANNO 2007 prot. 2007Z5ASZM

<b>1. Area Scientifico Disciplinare principale</b>	08: Ingegneria civile ed Architettura
<b>2. Coordinatore Scientifico del programma di ricerca</b>	VALOROSO Nunziante
- Università	Università degli Studi di NAPOLI "Parthenope"
- Facoltà	Facoltà di INGEGNERIA
- Dipartimento/Istituto	Dip. PER LE TECNOLOGIE
<b>3. Titolo del programma di ricerca</b>	Collegamenti strutturali, discontinuità fisiche e interfacce materiali: analisi e sperimentazione.
<b>4. Settore principale del Programma di Ricerca:</b>	ICAR/08
<b>5. Costo originale del Programma:</b>	520.600 €
<b>6. Quota Cofinanziamento MIUR:</b>	255.080 €
<b>7. Quota Cofinanziamento Ateneo:</b>	109.329 €
<b>8. Finanziamento totale:</b>	364.409 €
<b>9. Durata:</b>	24 mesi

## 10. Obiettivo della ricerca eseguita

Lo sviluppo del programma di ricerca, che si rivolge a problemi multidisciplinari di ingegneria a differenti scale di osservazione, si è basato sull'attività di gruppi che condividono esperienze complementari, ed ha richiesto l'implementazione di modelli meccanici, procedure di test, metodologie di analisi diretta ed inversa, obiettivi questi che hanno richiesto una sintesi tra le competenze dei settori della Meccanica, Scienza dei Materiali e Ingegneria Industriale.

I tre obiettivi principali del presente progetto PRIN, che le cinque Unità di Ricerca (UdR) coinvolte si erano proposte di perseguire sinergicamente, sono stati individuati come segue.

### A) Modellazione di interfacce e discontinuità

Il tema principale del Progetto è la modellazione meccanica di interfacce fisiche e materiali a differenti livelli di osservazione, dalla nano e microscala sino alla scala delle strutture ingegneristiche. Questa attività è dedicata alla formulazione di modelli, allo sviluppo di elementi finiti e algoritmi numerici, da implementare in codici di calcolo e validare attraverso test rappresentativi per i quali si renderanno disponibili dati sperimentali. In particolare, le Unità di Ricerca (UdR) di Napoli, Torino e Catania, utilizzano tre approcci complementari per la modellazione di interfacce

(i) Meccanica del Danneggiamento applicata alle Interfacce (IDM), per la modellazione alla macro e mesoscala di assemblaggi strutturali realizzati mediante incollaggio, orientati ad applicazioni industriali (UdR di Napoli). In questo contesto, si focalizza l'attenzione sui modelli di zona coesiva. Diversamente dai metodi direttamente correlati alla Meccanica della Frattura, i modelli basati sul concetto di zona coesiva possono coesistere ed interagire in modo naturale con altre forme di non linearità, siano esse costitutive o geometriche, e descrivere la risposta strutturale in condizioni di modo misto variabile e per condizioni di carico del tutto generali. Il principale obiettivo è lo sviluppo di formulazioni in grado di fornire previsioni attendibili per assemblaggi incollati.

(ii) Metodi agli Elementi Finiti estesi (X-FEM) per la descrizione di fenomeni multi-scala e produzione di calcestruzzi innovativi e sostenibili (UdR di Torino). La grande versatilità del metodo X-FEM deriva dalla indipendenza della mesh dalla presenza di interfacce. Al contrario dei classici metodi agli elementi finiti, nell'X-FEM la mesh può infatti essere sempre regolare, introducendo inclusioni, interfacce e discontinuità mediante una rappresentazione funzionale (level set). L'obiettivo principale è l'applicazione del metodo per l'analisi meso-meccanica di calcestruzzi innovativi, allo scopo di simulare distribuzioni di aggregati, e di determinare le proprietà macroscopiche nel solido eterogeneo come risultato di fenomeni meccanici presenti a scale differenti, ciascuno regolato da caratteristiche proprie.

(iii) Approccio alle Discontinuità Forti (SDA), orientato all'analisi ed alla simulazione della propagazione di fessure in materiali quasi-fragili ed assemblaggi strutturali (UdR di Catania). Il metodo SDA rappresenta la connessione naturale tra IDM e X-FEM. La propagazione di fratture, rappresentate da discontinuità di spostamento attraverso le interfacce, viene simulata attraverso arricchimenti locali nelle interpolazioni. Questa famiglia di metodi consente di cogliere interfacce con orientazione arbitraria, a patto di disporre di algoritmi di tracciamento robusti per seguire i percorsi di frattura. In questo contesto l'obiettivo principale della ricerca è di implementare una formulazione a danno per descrivere la transizione continuo-discreto, rivolta alla simulazione di processi di frattura in situazioni in cui non esistono interfacce fisiche note a priori.

(iv) Implementazione in un codice ad elementi finiti per simulazioni a grande scala (UdR Salerno). Obiettivo di questa attività è operare una sintesi dei precedenti punti (i)-(iii); modelli ed algoritmi numerici sviluppati, dapprima implementati in codici specifici per fini di ricerca, vengono poi trasferiti in programmi di calcolo industriali, ottimizzati per simulazioni su grande scala (in collaborazione con altre UdR). Inoltre, la validazione dei modelli e le procedure di identificazione dei parametri sono perseguiti attraverso l'attività di sperimentazione descritta nel seguito.

### B) Attività sperimentale

Le attività di sperimentazione rivestono un ruolo decisivo in questo progetto, con l'obiettivo di fornire indicazioni utili sia alla comunità scientifica che ingegneristica su metodologie progettuali e procedure di test per strutture dotate di interfacce fisiche o materiali. Questa attività è sviluppata dalle UdR di Milano, Torino, Napoli e Salerno su materiali strutturali ed assemblaggi, a scale differenti.

(i) Analisi innovative basate su tecniche di correlazione di immagini digitali DIC (UdR Milano). Il principale obiettivo è lo sviluppo di un sensore DIC per la misura di spostamenti e deformazioni a scale differenti. Questa tecnica riveste grande interesse per l'attività di modellazione e sperimentazione di tutte le UdR coinvolte. Inoltre, la UdR di Milano intende realizzare prove di decoesione su assemblaggi che saranno progettati per generare nei provini stati di sforzo e di deformazione prossimi a quella attesi in condizioni di servizio.

(ii) Analisi delle strutture fini per la produzione di calcestruzzi innovativi e sostenibili (UdR Torino). Il principale obiettivo è progettare e realizzare calcestruzzi innovativi contenenti distribuzioni di fibre a scale diverse, dai Nanotubi in Carbonio (CNTs) a rifiuti appositamente condizionati. L'influenza di tali fibre sulla risposta macroscopica di elementi strutturali sarà valutata mediante prove convenzionali di flessione e compressione, in presenza o meno di armatura.

(iii) Prove su assemblaggi incollati con rapporto di modo misto variabile, e trattamenti superficiali per migliorare le caratteristiche di resistenza (UdR di Napoli). I principali obiettivi sono quelli di sviluppare un protocollo sperimentale per applicazioni industriali, che comprenda i punti seguenti: a) procedure per la

preparazione del substrato, per migliorare la tenuta di un giunto; b) test meccanici da eseguire su provini di dimensione ridotta; c) calibrazione di modelli, d) progetto di connessioni per applicazioni industriali.

(iv) Prove sperimentali a scala reale (UdR di Salerno). L'obiettivo è di realizzare un programma sperimentale su un componente industriale a scala reale, sia in laboratorio che in situ. Si ritiene che questo tipo di prova possa fornire utili riscontri sulla affidabilità dei modelli e metodi numerici sviluppati, per applicazioni di ingegneria industriale.

C) Identificazione dei modelli, calibrazione e validazione

Obiettivo di questa attività è lo sviluppo di strumenti metodologici per l'identificazione di parametri contenuti in modelli costitutivi selezionati per le applicazioni.

Questo compito è demandato alla UdR di Milano in collaborazione con altre UdR coinvolte nella modellazione meccanica. In particolare, vengono studiate procedure di identificazione basate sul monitoraggio mediante DIC, per calibrare i modelli per assemblaggi, adesivi e interfacce, e valutare l'incertezza relativa alle stime dei parametri dovuta alla dispersione dei dati sperimentali. Ove possibile, vengono sviluppati strumenti numerici specifici per le analisi di sensitività, ossia per il calcolo dei gradienti del campo di spostamento rispetto ai parametri incogniti. Sarà possibile analizzare vere e proprie mappe di sensitività, ingrediente chiave per la progettazione di prove innovative e la scelta ottimale delle misure. I tre temi elencati non vanno considerati in ordine statico, bensì in modo dinamico per realizzare un circolo virtuoso attraverso le intense interazioni tra le UdR su diversi temi di ricerca.

## 11. Descrizione della Ricerca eseguita e dei risultati ottenuti

I risultati ottenuti dalle diverse Unità di Ricerca (UdR) afferenti al programma sono stati oggetto di pubblicazioni scientifiche su riviste a diffusione internazionale e di memorie presentate a congressi nazionali ed internazionali. Sono stati inoltre messi a punto procedure, codici di calcolo e strumentazione ed è stato svolto addestramento di personale coinvolto nelle diverse fasi dell'attività. Una descrizione dettagliata delle tematiche sviluppate dalle singole UdR è riportata di seguito. UdR di Napoli

La ricerca svolta ha riguardato lo studio e la simulazione del comportamento di assemblaggi strutturali realizzati mediante incollaggio; l'attività si è articolata su tre tematiche, la prima relativa a problemi di identificazione, la seconda riguardante i test sperimentali, la terza relativa alla tecnologia degli elementi finiti. Nell'ambito della prima linea di ricerca l'attenzione è stata rivolta ai metodi per la calibrazione di modelli di frattura e danneggiamento. È stata sviluppata una metodologia inversa che ha consentito di stimare i parametri che governano la risposta in modo I del modello di interfaccia coesiva proposto in [N. Valoroso, L. Champaney. A damage-mechanics-based approach for modelling decohesion in adhesively bonded assemblies. Eng. Fract. Mech., 73(18):2774-2801, 2006]. In particolare, è stata condotta l'identificazione dei parametri relativi alla risposta in modo I ottenuta mediante di prove di frattura di tipo DCB (Double Cantilever Beam). Il principale elemento di novità dello studio riguarda l'utilizzo di dati relativi a misure cinematiche a tutto campo e senza contatto ottenute tramite tecniche a correlazione di immagini; tali informazioni possono integrare e/o sostituire le misure convenzionali raccolte durante la prova con conseguente vantaggio in termini di precisione ed affidabilità dell'intera procedura. Un ingrediente fondamentale ai fini dell'identificazione è poi rappresentato dall'analisi di sensitività, ovvero dal calcolo dei gradienti della risposta rispetto ai parametri incogniti. La metodologia adottata in questo studio si basa sulla differenziazione diretta delle equazioni ed è stata implementata in una versione personalizzata del codice ad elementi finiti FEAP. La risposta nonlineare del provino DCB viene simulata mediante aderenti elastici mentre il modello coesivo è impiegato unitamente ad elementi di interfaccia. L'applicazione della procedura inversa viene quindi illustrata con riferimento a dati pseudo-sperimentali, generati a partire da parametri noti e successivamente corrotti con rumore ad intensità crescente. I calcoli sviluppati dimostrano l'efficacia della procedura inversa, la cui robustezza viene studiata in dipendenza dal campionamento spaziale e temporale. I risultati dell'identificazione possono essere riassunti come segue. Per quanto riguarda la stima dei parametri, l'energia di frattura  $G_c$  risulta sempre correttamente stimata indipendentemente dal livello di rumore e dalla distribuzione spazio-temporale dei dati cinematici. Viceversa, una accurata valutazione del parametro di rigidezza può essere ottenuta solo per livelli di rumore abbastanza bassi; ciò è parzialmente dovuto al fatto che l'informazione contenuta nel parametro di rigidezza nel caso esaminato è meno caratterizzante per la risposta strutturale rispetto all'energia di frattura.

L'attività sperimentale ha riguardato l'esecuzione di test di frattura su campioni assemblati realizzati mediante incollaggio. In particolare, sono stati realizzati provini di tipo DCB utilizzando piattine di 20 mm di larghezza di Al 2024 T351 ed un adesivo acrilico bicomponente. Le prove su questa geometria sono state eseguite in controllo di spostamento con una velocità della traversa di 100 micron/min. L'identificazione dei parametri del modello di interfaccia per il modo I, viene condotta utilizzando una procedura inversa in cui i dati sono sia quelli di tipo cinematico, ricostruiti per correlazione, che di tipo statico, più convenzionali, ottenuti misurando la forza reattiva all'estremità della DCB mediante una cella di carico.

Il problema affrontato nell'ambito della terza tematica è strettamente collegato sia allo studio dei problemi decoesione che all'identificazione. In tutte le situazioni in cui la presenza di interfacce fisiche o discontinuità materiali è nota a priori, i modelli coesivi vengono utilizzati unitamente ad elementi di interfaccia i quali debbono risolvere adeguatamente la zona di processo ed inoltre essere compatibili con gli elementi di volume o di superficie utilizzati per gli aderenti. In particolare, per i giunti adesivi è stato sviluppato un nuovo elemento di interfaccia dotato di gradi di libertà drilling. L'interesse di un tale elemento è motivato dal fatto che esso può essere accoppiato con elementi membrana o guscio dotati di gradi di libertà rotazionali da impiegare in sistemi strutturali complessi. Elementi siffatti sono dotati di eccellenti caratteristiche di accuratezza e di convergenza sia per mesh regolari che distorte; più in generale, elementi con ridotto numero di nodi rivestono un interesse particolare anche ai fini dell'implementazione di procedure di identificazione parametrica in quanto essi danno luogo a matrici di rigidezza con un basso grado di connessione, e quindi ad un ridotto onere computazionale.

UdR di Torino

L'obiettivo a lungo termine della ricerca svolta dall'UdR Torino è di produrre calcestruzzi con caratteristiche meccaniche e di durabilità migliori rispetto a quelle oggi realizzabili intervenendo sulla loro composizione. È noto che per ottenere buoni calcestruzzi è necessario assortire gli inerti secondo una curva granulometrica; nella ricerca sviluppata si studiano gli elementi necessari a definire una curva fibrometrica, che stabilisca la percentuale e le dimensioni di fibre per rinforzare il materiale tramite opportune azioni di bridging a varie scale, da quella nanometrica mediante additivazione di fibre di carbonio, alla micrometrica con fibre di lunghezza dell'ordine del millimetro e fino alle barre di armatura tradizionali. Nella ricerca sono stati esaminati aspetti sperimentali, teorico-strutturali e numerici. Nell'ambito della prima tematica si è studiata la possibilità di additivare i calcestruzzi con nanotubi di carbonio. Le proprietà e le dimensioni dei nanotubi dipendono dai parametri usati durante la loro deposizione in fase vapore a partire dai precursori e dalla tecnica stessa di sintesi. Per una applicazione commerciale la sintesi in fase vapore (CVD) è infatti l'unico processo che permette una produzione industriale a basso costo, anche se i nanotubi così ottenuti presentano difetti di impacchettamento degli atomi di carbonio nel reticolo dei fogli di grafene. Questi difetti giocano un ruolo importante nel rinforzo della pasta cementizia. I nanotubi privi di tali difetti non sono capaci di aderire alla matrice cementizia; inoltre, i difetti citati sono fondamentali per funzionalizzare i nanotubi di carbonio con gruppi superficiali quali i gruppi carbossilici, che portano alla formazione di legami chimici molto forti con i prodotti di idratazione del cemento. La funzionalizzazione superficiale facilita la dispersione dei nanotubi sia nei liquidi che nel conglomerato cementizio. Una corretta dispersione in acqua ed un efficace trasferimento dei carichi quando il materiale viene sottoposto a sforzi sono dunque i punti chiave del rinforzo dei materiali cementizi con nanotubi di carbonio. A questo primo risultato si è giunti dopo sperimentazioni su nanotubi privi di difetti che non riuscivano ad essere inseriti nella matrice cementizia creando problemi di idratazione e riduzione della resistenza a compressione. Sono state analizzate e provate malte cementizie tal quali e contenenti fino al 10% in peso rispetto al cemento di nanotubi a parete multipla (MWCNT) non funzionalizzati. I MWCNT sono stati sintetizzati su di un substrato di silicio tramite un processo CVD. Sono state condotte prove di carico a compressione semplice e di trazione indiretta, entrambe in controllo di spostamento. I risultati delle prove di trazione indiretta indicano come l'aggiunta di MWCNT influisca poco sulla resistenza a trazione. Per le prove di compressione semplice si sono invece ottenuti incrementi maggiori (30% circa). Ciò indica pure che tali aggiunte non hanno impedito il processo di idratazione della pasta cementizia e che la dispersione dei nanotubi nella matrice cementizia è omogenea. Valori simili di resistenza meccanica sono anche stati rilevati con campioni contenenti il 5 ed il 10% di MWCNT.

Per quanto concerne la tematica dell'analisi strutturale, sono stati sviluppati strumenti analitici e numerici per la valutazione delle conseguenze di modifiche del materiale sulle prestazioni degli elementi strutturali. In particolare, è stato prodotto un algoritmo basato su un criterio energetico per valutare l'effetto di resistenza, deformabilità ed energia di frattura del materiale sul collasso di singoli elementi strutturali ed un codice di calcolo agli elementi discreti per simulare il crollo di strutture a telaio complesse in calcestruzzo armato. Per quanto riguarda poi gli aspetti legati alla simulazione numerica del comportamento dei conglomerati mediante l'eXtended Finite Element Method (XFEM), gli studi eseguiti hanno evidenziato che l'introduzione di funzioni di arricchimento utilizzate per rappresentare singolarità o il passaggio da un materiale ad un altro all'interno del solido genera forti oscillazioni nello stato di sforzo e deformazione per gli elementi interessati dalla transizione. Tale effetto, spesso ignorato nelle applicazioni, diventa dominante per la classe di problemi in esame, in cui l'eterogeneità è molto forte.

Quest'aspetto è stato approfondito per giungere ad una metodologia utilizzabile in generale per ogni funzione di arricchimento, e quindi per qualunque tipo di discontinuità e/o singolarità presente nel problema fisico. È stato altresì studiato il problema dell'integrazione di funzioni di arricchimento singolari introducendo e testando una nuova metodologia, basata sull'integrazione sul contorno degli elementi finiti arricchiti, che non introduce approssimazioni. È stata infine avviata la scrittura del codice XFEM necessario per svolgere le simulazioni del continuo tridimensionale eterogeneo. Il codice è stato interfacciato con un pre/post processor per una agevole introduzione dei dati ed una efficace lettura grafica dei risultati delle elaborazioni.

UdR di Catania

Il tema di ricerca principale è stato la modellazione della formazione e propagazione di interfacce e discontinuità. L'apertura delle interfacce, sia all'interno di un mezzo microscopicamente omogeneo che in presenza di assemblaggi tra materiali diversi, si associa in genere a fenomeni di degrado che si attivano per particolari stati di sollecitazione. La tecnica utilizzata è quella delle discontinuità immerse intralemento (EED) nell'ambito di un approccio alle discontinuità forti (SDA). Allo scopo di ottenere una efficiente implementazione dell'algoritmo per prevedere l'insorgere della discontinuità e la relativa evoluzione, le equazioni governanti il problema sono state derivate per via variazionale. A differenza di altre proposte di letteratura non sono state introdotte ipotesi semplificative, rendendo la

formulazione suscettibile di includere fenomeni dissipativi diversi, per il continuo e per le interfacce, senza alterare la struttura dell'algoritmo. Esso risulta formalmente analogo a quello che caratterizza la soluzione dei problemi di plasticità classica ed è quindi facilmente inseribile all'interno di codici agli elementi finiti per la risoluzione del problema del continuo elastoplastico standard. Anche la forma ottenuta per il problema di equilibrio è generale, tale da poter includere, al variare della discretizzazione del campo di spostamento arricchito, sia formulazioni di tipo XFEM sia di tipo EED. In particolare le applicazioni sono state sviluppate secondo la logica EED. Uno sviluppo variazionale unificato del problema alle discontinuità forti di questo tipo è totalmente originale. Esso include inoltre discontinuità intraelemento che possono avere un andamento generale. Nell'implementazione EED la continuità del salto tra elementi contigui non è tuttavia garantita. La modellazione costitutiva delle interfacce, che può in generale essere caratterizzata da qualsiasi criterio di attivazione, è stata assunta di tipo coesivo con softening. Il metodo può essere applicato allo studio della formazione e diffusione di interfacce in sistemi continui, quali i fenomeni di fessurazione del calcestruzzo o di altri materiali fragili, oppure al caso di incollaggi di più materiali, caso in cui l'interfaccia è definita a priori, con possibilità di tracciamento delle interfacce all'interno di ciascun materiale ed attraverso la superficie di separazione degli stessi. In particolare, è stato studiato il comportamento di elementi strutturali in vetro stratificato, ottenuti interponendo uno strato di polivinilbutirrale (PVB) tra lastre di vetro float. Sono stati effettuati confronti tra le predizioni di modelli analitici e numerici con risultati sperimentali, effettuando prove di laboratorio. Allo scopo di valutare l'energia di interfaccia tra PVB e vetro sono state effettuate simulazioni numeriche di Dinamica Molecolare (MD), tenendo conto dell'effetto dell'umidità, dei fenomeni di ionizzazione e della plasticizzazione sulla resistenza dell'adesione. Il legame molecolare è ampiamente accettato come meccanismo per spiegare l'adesione tra superfici a contatto. Esso tiene conto delle forze intermolecolari tra l'adesivo ed il substrato, come le interazioni dipolo-dipolo, le forze di Van der Waals e le interazioni chimiche (ioniche, covalenti e metalliche). L'entità di ciascun contributo e la resistenza di adesione risultante dipendono in gran parte dalle caratteristiche chimiche dell'interfaccia e dalle proprietà a scala atomistica dei componenti organici ed inorganici. Gli effetti delle interazioni chimiche e molecolari sono spesso trascurati in molti modelli analitici e difficili da valutare sperimentalmente. In questo contesto le simulazioni MD possono dare informazioni sostanziali sulla resistenza all'interfaccia. Il concetto termodinamico usato per quantificare l'adesione a livello molecolare è il lavoro di adesione. Secondo studi recenti l'energia di frattura dei materiali può essere correlata al lavoro di adesione molecolare attraverso opportune relazioni che tengono conto della temperatura e della viscosità dei materiali a contatto. Ne discende che, sebbene il lavoro di adesione sia inferiore di vari ordini di grandezza rispetto all'energia di frattura, piccole variazioni di esso possono comportare notevoli variazioni dell'energia di frattura. In tal senso la stima delle caratteristiche dell'interfaccia mediante simulazioni numeriche può essere di aiuto nello sviluppare materiali con proprietà migliorate dell'interfaccia, ed una desiderata resistenza dell'adesione può essere ottenuta definendo le proprietà dell'interfaccia attraverso uno specifico design.

UdR di Milano

L'attività si è sviluppata su due linee di ricerca: lo sviluppo di metodologie di analisi inversa per la identificazione simultanea di parametri meccanici e condizioni al contorno, e la progettazione e validazione di un sistema per monitoraggio mediante correlazione di immagini digitali 2D.

Con riferimento alla prima tematica sono state sviluppate due metodologie di analisi inversa per la caratterizzazione di giunti/interfacce a scale diverse, riferite nel seguito come globale e locale, tra loro complementari. La metodologia globale si basa sulla simulazione del comportamento dell'intero provino mediante un modello ad elementi finiti, sviluppato dalla UdR di Napoli in ambiente FEAP. I principali vantaggi di tale approccio risiedono nel fatto che esso offre la possibilità di impiegare come confronto anche le usuali misure statiche (diagramma carico-spostamento) e che si presenta come diretta alternativa ai modelli semplificati (ed approssimati) di trave che vengono utilizzati nella pratica ingegneristica. Il principale svantaggio è dovuto alle dimensioni del modello adottato, con un onere computazionale elevato, specialmente in presenza di non linearità costitutiva degli aderenti e/o non linearità geometrica. Inoltre, impiegando elementi di interfaccia a spessore nullo, l'identificazione delle proprietà elastiche del giunto può risultare meno accurata. Per tale modello è stata sviluppata una procedura identificativa in ambiente Matlab, arricchita da strategie di selezione delle misure con contenuto informativo più elevato basate sulle mappe di sensitività. La metodologia locale per la identificazione simultanea di parametri meccanici e condizioni al contorno si basa invece su una modellazione della sola Regione di Interesse (ROI). In altri termini, solo una ristretta regione sulla superficie del dominio viene monitorata durante la prova e discretizzata, con conseguente vantaggio in termini computazionali e di semplicità del modello. La simulazione della risposta viene governata dagli spostamenti al contorno misurati mediante DIC, originariamente prescritti in modo deterministico, come se fossero assolutamente certi. Tuttavia, in questo caso i campi di deformazione e sforzo risultante all'interno del dominio risultano difficilmente decifrabili perché rumorosi (in quanto ottenuti differenziando misure rumorose). Le perturbazioni ad alta frequenza dovute al rumore si propagano dalla frontiera all'interno del dominio senza smorzarsi, specialmente in presenza di un comportamento non lineare degli aderenti e di forme del dominio allungate. È stata quindi implementata una procedura per il calcolo della matrice di sensitività del campo di spostamenti rispetto alle condizioni cinematiche prescritte al contorno. Tale procedura ha permesso di evidenziare come perturbazioni di una componente di spostamento prescritta al bordo della ROI influenzano la risposta meccanica su una ampia parte del dominio discretizzato, a differenza di quanto accade per la sensitività rispetto ai parametri meccanici di interfaccia, più elevata nelle vicinanze della parte integra del giunto. Il problema di identificazione originario è stato quindi generalizzato in uno spazio di parametri aumentato, che arriva a diverse migliaia di incognite. L'obiettivo dell'identificazione è rappresentato sia dai parametri meccanici, che governano la risposta in modo misto del giunto adesivo, sia dalle condizioni al contorno, di cui le misure rappresentano come una realizzazione di una variabile di campo casuale. L'identificazione dei parametri di interesse avviene effettuando un disaccoppiamento ad ogni passo tra i parametri meccanici e quelli al contorno e, tra questi ultimi, tra quelli relativi ad istanti di misura differenti. I risultati ottenuti sono soddisfacenti e permettono di individuare in maniera chiara i campi di deformazione e di sforzo all'interno del dominio. Per quanto riguarda il sistema di monitoraggio, esso è stato validato attraverso una lunga procedura di test. La strumentazione è stata impiegata per il monitoraggio di prove di frattura in modo I, II e modo misto su giunti adesivi (provini in Al 2024 T351). In particolare, si è effettuato un monitoraggio di alcune prove su giunti adesivi simultaneamente su due scale: da una parte, la camera motorizzata e potenziata con obiettivi ad alto ingrandimento per seguire il processo deformativo di una ristretta regione a cavallo del percorso di frattura (con dimensione del pixel equivalente a pochi micron), mentre una macchina digitale convenzionale inquadrava l'intero provino (dimensione del pixel equivalente a poche decine di micron). Un programma appositamente sviluppato permetteva di temporizzare la acquisizione di immagini e di seguire la ROI, soggetta a moti rigidi. Sono state considerate sia prove in modo I, (DCB) che in modo II e misto. Sono stati testate diverse tipologie di trattamenti di superficie, volti ad accrescere la qualità della tessitura superficiale, con diverse "granulometrie" per le due scale di monitoraggio sopra menzionate. Si è studiata la dipendenza della risposta meccanica dalla procedura di preparazione del giunto adottato, ed è stato individuato un protocollo ottimale. I risultati ottenuti in termini di incertezza e risoluzione sono da considerarsi soddisfacenti. Una ulteriore regolarizzazione del campo di spostamento misurato mediante DIC, solitamente poco leggibile, viene ottenuta mediante una proiezione su sottospazi polinomiali, implementata nel codice a correlazione.

UdR di Salerno

Il compito dell'unità di ricerca è consistito nella verifica delle prestazioni del modello di danneggiamento della giunzione incollata messo a punto dalla UdR di Napoli, su un componente strutturale di uso industriale sia mediante sperimentazione, sia mediante simulazione agli elementi finiti con un software di calcolo commerciale. A tale scopo era stato elaborato un programma comprendente le diverse attività appresso descritte. È stato individuato il software commerciale ANSYS in cui implementare il modello di danneggiamento e ne è stata testata la capacità di accogliere sottoprogrammi esterni contenenti leggi di materiale ed elementi non predefiniti. Il gruppo di ricerca ha acquisito in proposito conoscenze e pratica sufficienti per implementare elementi di interfaccia. Alcune versioni della subroutine contenente tali elementi sono state testate in relazione a generici modelli coesivi. Sono state definite le modalità di prova, e realizzati il prototipo del dispositivo di carico, che consiste di una cornice snodata per prove di taglio di nuova concezione, e per gli articoli di prova (pannelli in alluminio di lato circa 800 mm, con e senza irrigidimenti incollati con sezione a L). Sono state condotte diverse prove di laboratorio e simulazioni su modelli ad elementi finiti che dimostrano che la configurazione di prova è adatta a provocare facilmente condizioni di instabilità geometrica. La cornice snodata è composta da quattro travi rigide, realizzate in acciaio in cui il provino è bloccato, imponendo una pressione uniforme di chiusura per mezzo di piastre opportunamente predisposte. La configurazione snodata è ottenuta collegando due bielle rigide a ciascun vertice della cornice classica. La funzione di questi collegamenti è di imporre una precisa direzione al carico applicato sulle travi e di qui al pannello. Poiché nei casi analizzati, la posizione iniziale dei collegamenti è parallela ai componenti della struttura, il carico applicato su ciascuna trave è anch'esso inizialmente diretto lungo la stessa direzione della trave, producendo un carico di taglio, fin quando l'angolo tra la biella e la trave diventa sufficientemente grande. Al contrario, le cornici tradizionalmente usate per caricare a taglio i pannelli, impongono ai bordi del pannello una condizione di carico mista, con un valore non trascurabile di carico normale e momento. Allo scopo di simulare numericamente il comportamento del pannello con irrigidimenti sono state acquisite attrezzature e know-how per la misura di resistenza alla sollecitazione in modo III mediante un dispositivo di carico e un tipo di provino configurati ad hoc. Esso è costituito da un provino le cui superfici incollate sono a forma di corona circolare imperniata nel centro. Ad esso viene applicato un momento torcente mediante apposite leve collegate ad una macchina universale. I modelli numerici ANSYS per la simulazione delle prove di buckling sui pannelli sono stati realizzati e sono state confrontate la prova fisica e la prova virtuale senza tenere conto dell'effettivo distacco degli irrigidimenti. Inoltre è stata modellata la prova di rottura in modo III di nuova concezione.

## 12. Problemi riscontrati nel corso della ricerca

NESSUN PROBLEMA RISCONTRATO

### 13. Risorse umane complessivamente ed effettivamente impegnate (da consuntivo)

	(mesi uomo)
<b>TOTALE</b>	<b>178</b>
<b>da personale universitario</b>	<b>178</b>
<b>altro personale</b>	<b>99</b>
<b>Personale a contratto a carico del PRIN 2007</b>	<b>53</b>

### 14. Modalità di svolgimento (dati complessivi)

#### Partecipazioni a convegni:

	Già svolti (numero)	Da svolgere (numero)	Descrizione
<b>in Italia</b>	9	0	(1) Colloquium Lagrangianum 2008, 19-22 febbraio 2009, Maratea. (2) Riunione Gruppo Materiali Aimeta, 25-27 febbraio 2010, Palermo. (3) International Conference on Advanced Computational Engineering and Experimenting, ACE-IX 2009, 22-23 giugno 2009, Roma. (4) XX Convegno Nazionale del Gruppo Italiano Frattura, Politecnico di Torino, 24-26 giugno 2009. (5) XXXVIII Convegno Nazionale AIAS, Associazione Italiana per l'Analisi delle Sollecitazioni, Politecnico di Torino, 9-11 settembre 2009. (6) XIX Congresso AIMETA, Associazione Italiana Meccanica Teorica e Applicata, Università Politecnica delle Marche, 14-17 settembre 2009, Ancona. (7) Joint SIMAI/SEMA Conference on Applied and Industrial Mathematics, 21-25 giugno 2010, Cagliari. (8) XXXIX Convegno Nazionale AIAS, Associazione Italiana per l'Analisi delle Sollecitazioni, 7-10 settembre 2010, Maratea. (9) XVIII Convegno Italiano di Meccanica Computazionale, 22-24 settembre 2010 Siracusa.
<b>all'estero</b>	13	0	(1) 9eme Colloque National en Calcul des Structures, 25-29 maggio 2009, Giens (France). (2) 2nd South East European Conference on Computational Mechanics, 22-24 giugno 2009, Rhodes (Greece). (3) 12th International Conference on Fracture (ICF), 12-17 luglio 2009, Ottawa (Canada). (4) X International Conference on Computational Plasticity, COMPLAS X, 2-4 settembre 2009, Barcelona (Spain). (5) 7th EUROMECH Solid Mechanics Conference, ESMC 2009, 7-11 settembre 2009, Lisbon (Portugal). (6) XFEM 2009, Recent developments and applications, 28-30 settembre 2009, Aachen (Germany). (7) 15th IFIP WG7.5 Working Conference Reliability and Optimization of Structural Systems, 7-10 April 2010, Munchen (Germany). (8) European conference on Computational Mechanics ECCM 2010, 16-21 maggio 2010, Paris (France). (9) 8th International Masonry Conference, 4-7 luglio 2010, Dresden (Germany). (10) International Conference on Advanced Computational Engineering and Experimenting, ACE-X 2010, 8-9 luglio 2010, Paris (France). (11) 18th European Conference on Fracture, 30 agosto-3 settembre 2010, Dresden, (Germany). (12) 7th International Conference on Engineering Computational Technology, ECT 2010, 14-17 settembre 2010, Valencia (Spain). (13) ICRACM-2010 - 3rd International Conference on Recent Advances in Composite Materials. 13-15 dicembre, 2010, Limoges (France).
<b>TOTALE</b>	<b>22</b>	<b>0</b>	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

#### Articoli pertinenti pubblicati:

	Numero	Descrizione
<b>su riviste italiane con referee</b>	0	
<b>su riviste straniere con referee</b>	18	<p>N. Valoroso, R. Fedele. Characterization of a cohesive-zone model describing damage and de-cohesion at bonded interfaces. Sensitivity analysis and mode-I parameter identification. <i>International Journal of Solids and Structures</i>, 47(13):1666-1677, 2010. ISSN: 0020-7683, Elsevier Science.</p> <p>R. Fedele, N. Valoroso, S. Sessa. A study on the information content of full-field kinematic data for the identification of cohesive parameters. Sensitivity analysis and selection criteria. 2010.</p> <p>N. Valoroso. A novel interface element with drilling degrees of freedom. 2010.</p> <p>Fedele, R., Raka, B., Hild, F., Roux, S., Identification of adhesive properties in GLARE laminates by Digital Image Correlation, <i>J Mechanics Physics of Solids</i>, Vol. 57, No. 7, pp. 1003-1016., 2009</p> <p>Fedele, R., Milani, G., A numerical insight into the response of masonry columns reinforced by FRP strips: the case of perfect adhesion. <i>Composite Structures</i>, Vol. 92(10), 2010, 2345-2357.</p> <p>Carpinteri A., Ferro G.A., Effect of specimen size on the dissipated energy density in compression. <i>JOURNAL OF APPLIED MECHANICS</i>, vol. 75, 2008.</p> <p>Musso S., Tulliani J.M., Ferro G.A., Tagliaferro A., Influence of carbon nanotubes structure on the mechanical behavior of cement composites. <i>COMPOSITES SCIENCE AND TECHNOLOGY</i>, vol. 69; p. 1985-1990, 2009.</p> <p>T. Belytschko, R. Gracie, G. Ventura, A review of extended/generalized finite element methods for material modelling. <i>Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering, Volume 17</i>, 2009.</p> <p>G. Ventura, R. Gracie, T. Belytschko, Fast integration and weight function blending in the extended finite element method. <i>International Journal for Numerical Methods in Engineering</i>; Volume 77; pp.: 1-19, 2009.</p> <p>A. Carpinteri, J.R. Carmona, G. Ventura, Failure mode transitions in RC beams - Part 1: theoretical model. <i>ACI Structural Journal</i>, 2010.</p> <p>A. Carpinteri, J.R. Carmona, G. Ventura, Failure mode transitions in RC beams - Part 2: experimental tests. <i>ACI Structural Journal</i>, 2010.</p>

		<p>Masoero E., Wittel F.K, Herrmann H.J, Chiaia B.M, <i>Progressive Collapse Mechanisms of Brittle and Ductile Framed Structures</i>. <i>Journal of Engineering Mechanics</i>, Volume 136 (8), pp.: 987-995, 2010.</p> <p>Toth R., Voorn D.-J., Handgraaf J.-W., Fraaije J.G.E.M., Fermeglia M., Prici S., Posocco P. <i>Multiscale computer simulation studies of water-based montmorillonite/poly(ethylene oxide) nanocomposites</i> <i>Macromolecules</i> 42:8260-827, 2009.</p> <p>Scocchi G, Posocco P., Handgraaf J.W., Fraaije J.G.E.M., Fermeglia M., Prici, S. <i>A complete multiscale modelling approach for polymer-clay nanocomposites</i>. <i>Chemistry - A European Journal</i> 15:7586-7592, 2009.</p> <p>Posocco P., Posel Z., Fermeglia M., Lisal M., Prici S. <i>A molecular simulation approach to the prediction of the morphology of self-assembled nanoparticles in diblock copolymers</i>, <i>Journal of Materials Chemistry</i>, 1364-5501, 2010.</p> <p>Cricri G. <i>A two-parameter model for crack growth simulation by combined FEM-DBEM approach</i>. <i>ADVANCES IN ENGINEERING SOFTWARE</i>, vol. 40; p. 363-377, 2009.</p> <p>C. Cali, G. Cricri, M. Perrella, - <i>An advanced creep model allowing for hardening and damage effects</i>, <i>Strain</i>, Volume 46, Issue 4, pages 347-357, 2010.</p> <p>R. Citarrella, G. Cricri, <i>Comparison of DBEM and FEM crack path predictions in a notched shaft under torsion</i>, <i>Engineering Fracture Mechanics</i> Volume 77, pages 1730-1749, 2010.</p>
<b>su altre riviste italiane</b>	0	
<b>su altre riviste straniere</b>	0	
<b>comunicazioni a convegni/congressi internazionali</b>	19	<p>N. Valoroso. <i>On the application of a novel interface element for the simulation of delamination and fracture</i>. In C. Rey, editor, <i>Giens 2009, 9e colloque national en Calcul des Structures</i>, Giens, France, 2009. CSMA, Computational Structural Mechanics Association. <a href="http://giens2009.lmt.ens-cachan.fr/resumes/">http://giens2009.lmt.ens-cachan.fr/resumes/</a>.</p> <p>N. Valoroso. <i>Interface elements, drilling rotations and parameter identification in computational failure analysis of adhesive structural joints</i>. In: <i>European Conference on Computational Mechanics. ECCM 2010, European Community on Computational Methods in Applied Sciences</i>.</p> <p>Fedele, R., Milani, G., <i>Delamination of FRP strips glued to masonry columns: a numerical insight</i>, <i>8th International Masonry Conference 2010 in Dresden</i>, 2010.</p> <p>Fedele, R., Hild, F., Roux, S., <i>Comportement mécanique de joints adhésifs pour composites GLARE estimés par corrélation d'images</i>, <i>IX Colloque National en calcul des structures</i>, 25-29 Mai 2009, Giens (France).</p> <p>Musso S., Tulliani J.M., Tagliaferro A., Ferro G., <i>Mechanical behavior of carbon nanotubes/cement composites</i>. In: <i>Proceedings of the 12th International Conference on Fracture (ICF)</i>. Ottawa (Canada), 12-17 luglio 2009, Paper N. 937, 2009.</p> <p>Chiaia B.M, Masoero E., Wittel F.K, Herrmann H.J, <i>Simulations of the Progressive Collapse of Framed Structures</i>, <i>Proceedings of the 12th International Conference on Fracture</i>, 2009.</p> <p>Paggi M., Ferro G., <i>Nonlinear Interface Crack Propagation in Concrete Dams Under Seismic Loading</i>. In: <i>Proceedings of the 18th European Conference on Fracture (ECF 2010)</i>. Dresda (Germany), 30 agosto- 3 settembre 2010.</p> <p>Tulliani J.M., Musso S., Lecompte J.P., Ferro G., <i>Mechanical Properties of Cement Mortars Composites Containing Carbon Nanotubes</i>, <i>Proceedings of ICRACM-2010 In: Proceedings of ICRACM-2010 - 3rd International Conference on Recent Advances in Composite Materials</i>. Limoges (France), December 13-15, 2010.</p> <p>L. Contrafatto. <i>Application of the Strong Discontinuities Approach for the analysis of laminated glass units</i>, <i>2nd South East European Conference on Computational Mechanics</i>, Island of Rhodes, Greece, 22-24 June, 2009.</p> <p>M. Cuomo, L. Contrafatto. <i>Diffused vs. concentrated cracks in the Strong Discontinuities Approach</i>. In: <i>Proceedings 2nd SOUTH EAST EUROPEAN CONFERENCE ON COMPUTATIONAL MECHANICS, Rhodes, GREECE, 22-24 JUNE, 2009</i>.</p> <p>L. Contrafatto, M. Cuomo. <i>A numerical algorithm for the prediction of growth and propagation of interfaces - X International Conference on Computational Plasticity, COMPLAS XBarcelona, Spain, September 2-4, 2009</i>.</p> <p>L. Contrafatto, M. Cuomo. <i>A variational formulation of the equilibrium problem of a damaging continuum in the context of the Strong Discontinuities Approach - 7th EUROMECH Solid Mechanics Conference, ESMC 2009 - Lisbon, Portugal, September 7-11, 2009</i>.</p> <p>L. Contrafatto, M. Cuomo. <i>Finite Element implementation of an enhanced Strong Discontinuities Approach formulation vs. smeared crack models</i>. <i>ECCM 2010, Paris, France, 2010</i>.</p> <p>G. Ayala, L. Contrafatto, M. Cuomo, J. Retama. <i>Consistent symmetric formulation of the Enhanced Embedded Discontinuity Method</i>, <i>IV European Conference on Computational Mechanics, ECCM 2010, Paris, France, 2010</i>.</p> <p>M. Cuomo, L. Contrafatto - <i>Exact integration of an Element with Embedded Discontinuities formulation</i>, <i>Joint SIMA/SEMA Conference on Applied and Industrial Mathematics, Cagliari, Italy, June 21-25, 2010</i>.</p> <p>R. Citarrella, G. Cricri, M. Lepore, M. Perrella, <i>DBEM and FEM analysis of an extrusion press fatigue failure</i>, <i>Proceedings of the International Conference ACE-X 2009, Rome (Italy) 22-23 June 2009</i>.</p> <p>G. Cricri, M. Perrella, N. Valoroso, <i>A novel fixture for measuring mode-III toughness of bonded metal joints</i>, <i>Proceedings of the International Conference ACE-X 2010, Paris (France) 8-9 July 2010</i>.</p> <p>C. Cali, G. Cricri, M. Perrella, <i>Post-Buckling Behaviour of Thin Aluminium Panels undergoing Shear Load: Experimental and Numerical Investigation</i>, in B.H.V. Topping, J.M. Adam, F.J. Pallarés, R. Bru, M.L. Romero, (Editors), <i>Proceedings of the Seventh International Conference on Engineering Computational Technology</i>, Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, Paper 61, 2010.</p> <p>R. Citarrella, Lepore M.A., C. Cali., V. Ascione, <i>Fatigue Crack Propagation using the Dual Boundary Element Method in a Fiber Metal Laminates Aeronautic Full Scale Panel</i>. <i>Proceedings of the Seventh International Conference on Engineering Computational Technology</i>, B.H.V. Topping, J.M. Adam, F.J. Pallarés, R. Bru and M.L. Romero, (Editors), Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, Paper 62, 2010.</p>
<b>comunicazioni a convegni/congressi nazionali</b>	22	<p>A. Zirpoli, R. Fedele, N. Valoroso. <i>Mode-I parameter identification for an interface model describing damage in adhesive joints</i>. In <i>XIX Convegno Nazionale AIMETA, Fano (PU)</i>, 2009. Associazione Italiana di Meccanica Teorica e Applicata, Aras Edizioni. ISBN-13: 978-88-96378-08-3; ISBN: 8896378087.</p> <p>N. Valoroso, A. Zirpoli, R. Fedele. <i>Analisi di sensitività e identificazione parametrica per modelli di zona coesiva</i>. In <i>XX Convegno IGF, Torino</i>, 2009. Gruppo Italiano Frattura. ISBN: 978-88-95940-25-0.</p> <p>N. Valoroso, R. Fedele, S. Sessa. <i>Identification of interface parameters from static and kinematic data: experimental and numerics</i>. In <i>XVIII Convegno Italiano di Meccanica Computazionale</i>. Gruppo Italiano di Meccanica Computazionale, 2010.</p> <p>Fedele R, Santoro R, <i>Valutazione simultanea di parametri meccanici e condizioni al contorno sulla base di misure cinematiche alla microscala</i>, <i>Siracusa, September 22-24 2010, XVIII Convegno Italiano di Meccanica Computazionale</i>.</p> <p>Fedele R, Milani, G, <i>Processi di delaminazione in colonne in muratura rinforzate con FRP: analisi numeriche e considerazioni progettuali</i>, <i>Siracusa, September 22-24 2010, XVIII Convegno Italiano di Meccanica Computazionale</i>.</p> <p>Fedele, R., Hild F., Roux, S., <i>Una metodologia inversa a Correlazione di Immagini Digitali per l'identificazione del comportamento a frattura di giunti ed interfacce</i>, <i>XX Convegno IGF, Torino</i>, 2009. Gruppo Italiano Frattura.</p> <p>Fedele, R., Hild F., Roux, S., <i>Una metodologia inversa a correlazione di immagini digitali per leggere il</i></p>

comportamento costitutivo di giunti ed interfacce, XXXVIII Convegno Nazionale AIAS, Torino, 9-11 settembre 2009.. Ferro G., Iacoviello F., Atti del XX Convegno Nazionale del Gruppo Italiano Frattura. Torino: Gruppo Italiano Frattura, 2009.

Ipperico M., Musso S., Tulliani J.M., Tagliaferro A., Ferro G.A., Calcestruzzo autocompattante nanorinforzato (CNTSCC): proprietà meccaniche e potenzialità. In: XX Convegno Nazionale IGF (Gruppo Italiano Frattura). Torino, 24-26 Giugno 2009.

L. Contrafatto, Modelling of cracks by the Strong Discontinuities Approach. XX Convegno Nazionale Gruppo Italiano Frattura, IGF XX, Torino, June 24-26, 2009.

L. Contrafatto, G Di Venti - A new approach for the description of fracture in laminated glass beams. XX Convegno Nazionale Gruppo Italiano Frattura, IGF XX, Torino, June 24-26, 2009.

L. Contrafatto, M. Cuomo. A variational formulation in damaging plasticity for modelling Strong Discontinuities - XIX AIMETA Congress of Theoretical and Applied Mechanics, Ancona, Italy, September 14-17, 2009.

L. Contrafatto, G. Di Venti - Analysis of laminated glass beams using the Strong Discontinuities Approach - XIX AIMETA Congress of Theoretical and Applied Mechanics, Ancona, Italy, September 14-17, 2009.

L. Contrafatto, M. Cuomo. On the kinematics of strong discontinuities - GMA2010 - IV Riunione del Gruppo Materiali dell'AIMETA, Palermo, Italy, February 25-26, 2010.

L. Contrafatto, G. Di Venti, P. Posocco - Comparative study of laminated glass beams response, XVIII Convegno del Gruppo Italiano di Meccanica Computazionale, 2010., Siracusa, Italy, September 22-24, 2010.

L. Contrafatto, M. Cuomo, F. Fazio. On the effect of linear distributed loads acting on a RC finite element in the prediction of discrete cracks locations, XVIII Convegno del Gruppo Italiano di Meccanica Computazionale, 2010., Siracusa, Italy, September 22-24, 2010.

L. Contrafatto, M. Cuomo, G. Di Venti - New developments in modeling interfaces by the strong discontinuity approach, XVIII Convegno del Gruppo Italiano di Meccanica Computazionale, 2010., Siracusa, Italy, September 22-24, 2010.

P. Posocco, L. Contrafatto, M. Ferneglia, S. Pricl - Interface adhesion in laminated glass: a molecular simulation perspective, XVIII Convegno del Gruppo Italiano di Meccanica Computazionale, 2010., Siracusa, Italy, September 22-24, 2010.

G. Cricri, Consistent use of the Gurson-Tvergaard damage model for the R-curve calculation - Convegno Nazionale IGF XX, Torino 24-26 giugno 2009; ISBN 978-88-95940-25-0.

R. Citarella, Lepore M.A., C. Cali. Analisi a fatica di una giunzione rivettata a semplice sovrapposizione con il Dual Boundary Element Method. Atti del XXXVIII Convegno Nazionale, AIAS, pp. 297-299, Torino, 9-11 settembre 2009.

C. Cali, G. Cricri, M. Perrella, Modello numerico del comportamento di materiali danneggiabili in presenza di creep, Atti del XXXVIII Convegno Nazionale AIAS, Torino, 9-11 settembre 2009.

C. Cali, G. Cricri, M. Perrella, Indagine numerico sperimentale del comportamento post-buckling di pannelli aeronautici con e senza irrigidimenti caricati a taglio, Atti del XXXIX Convegno Nazionale AIAS, Maratea 7-10 September 2010.

<b>rapporti interni</b>	0	
<b>brevetti depositati</b>	0	
<b>TOTALE</b>	<b>59</b>	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Data 21/12/2010 20:43

Firma .....

Si autorizza alla elaborazione e diffusione delle informazioni riguardanti i programmi di ricerca presentati ai sensi del D. Lgs. n. 196/2003 del 30.6.2003 sulla "Tutela dei dati personali". La copia debitamente firmata deve essere depositata presso l'Ufficio competente dell'Ateneo.