



POLITECNICO DI BARI
Centro di Eccellenza in Meccanica Computazionale
(CEMeC)
Via Re David 200, 70125 Bari

RELAZIONE al MIUR 2001/09

Presentazione del CEMeC

Il CEMEC, Centro di Eccellenza in Meccanica Computazionale, è un centro di eccellenza sorto all'interno del Politecnico di Bari nel 2000, in seguito alla pubblicazione di un bando competitivo del MIUR (Cofinlab 2000) per l'attivazione di un certo numero di Centri di Eccellenza nell'ambito della Società dell'Informazione. Nel Politecnico di Bari furono presentati 5 progetti, di cui tre approvati dal Senato Accademico ed inviati al MIUR. Di questi, solo il CEMeC ha ottenuto il co-finanziamento ministeriale. Lo scopo del progetto era quello di concentrare, al fine di creare sinergie e svolgere un servizio di supporto scientifico e tecnologico per il territorio, le competenze esistenti nel Politecnico di Bari, ed in particolare nel DIMeG (Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Gestionale), in vari settori scientifici afferenti in senso lato alla Meccanica Computazionale. I valutatori internazionali del MIUR hanno riconosciuto in pieno la alta qualificazione scientifica dei proponenti, finanziando il progetto, che prevede 9 **linee di ricerca (LR)**, nei due ampi settori della meccanica computazionale dei fluidi e dei solidi, qui di seguito riportate.

Nell'ambito della Meccanica dei fluidi:

- LR1. Simulazione della turbolenza;
- LR2. Sviluppo di metodi innovativi per le equazioni di Navier-Stokes;
- LR3. Flutter (problemi di vibrazioni di organi sottili sollecitati da flussi: vibrazioni di ali di aeroplani, palette di turbine o compressori, ecc.);
- LR4. Progettazione ed ottimizzazione fluidodinamica (ottimizzazione di profili alari, di camere di combustione di caldaie, ecc.).

Nell'ambito della Meccanica generale e dei solidi:

- LR5. Fatica termica e da *fretting* (strofinio) in componenti di turbine a gas;
- LR6. Progettazione multilivello di freni, frizioni, cambi ed altri componenti meccanici;
- LR7. Simulazione dinamica ed ottimizzazione di trasmissioni CVT (a variazione continua del rapporto di trasmissione);
- LR8. Tecniche di analisi e manipolazione di dati in ambiente virtuale;
- LR9. Simulazione di processi di lavorazione per deformazione plastica.

La LR8, oltre ad avere una propria valenza scientifica, è importante come supporto a numerose altre LR, in quanto consente una gestione e visualizzazione efficiente ed efficace dei risultati ottenuti dalle simulazioni numeriche (visualizzazione dei flussi intorno ad ali di aeroplano, palette di turbine e compressori, ecc.). Come appare dagli argomenti relativi alle varie LR, molti hanno una diretta attinenza con l'ingegneria aerospaziale. Non è un caso, visto che il direttore del CEMeC ha conseguito un Ph.D. in Ingegneria aerospaziale presso l'Università di Cincinnati, Ohio, USA. Il CEMEC è dotato di attrezzatura tecnologicamente avanzata, nonostante la rapidità dell'evoluzione tecnologica negli strumenti di calcolo e di visualizzazione scientifica). In particolare, sono da segnalare due calcolatori paralleli, dotati ciascuno di 32 CPU, ed un sistema di realtà virtuale per la gestione e visualizzazione dati in ambiente immersivo, assemblato dai ricercatori della LR8.

Alle attività del CEMeC partecipano oltre 30 ricercatori, di cui 22 docenti universitari [due docenti del Dipartimento di Ingegneria per l'Ambiente e lo sviluppo sostenibile (DIASS) del Politecnico di Bari (M.

Ciavarella e G. Mantriota), da un docente del Dipartimento di Ingegneria Meccanica dell'Università di Roma Tor Vergata (R. Verzicco), due docenti dell'Università della Basilicata (A. Bonfiglioli e V. Magi), un docente dell'ENSAM, Paris (P. Cinnella) e dai seguenti docenti e ricercatori del DIMeG: M. Napolitano, P. De Palma, G. Pascazio, R. Verzicco. L. A. Catalano, G. Demelio, M. Ciavarella, L. M. Mangialardi, G. Carbone, L. Soria, L. Tricarico, G. Palumbo, R. Spina, G. Monno, A. Uva e M. Fiorentino] e circa 20 tra assegnisti di ricerca, dottorandi di ricerca, borsisti e laureati con contratti di collaborazione. Nei primi 4 anni di attività del CEMeC, sono state prodotte oltre 100 pubblicazioni, di cui molte su prestigiose riviste internazionali, con risultati scientifici di pregio, anche grazie alla sinergia tra i vari gruppi coinvolti. Una analoga quantità di pubblicazioni è stata prodotta negli anni successivi alla conclusione del triennio di attività finanziato dal MIUR.

Particolarmente utile si è rivelata la sinergia con i dottorati di ricerca in **Ingegneria meccanica** (cicli XVII-XIX), successivamente ridenominato **Ingegneria delle Macchine** (cicli XX-XXIV), coordinati dal direttore del CEMeC, **Progettazione meccanica e biomeccanica** (cicli XX-XXIV), e **Sistemi avanzati di produzione** (cicli XIIIV-XXIV), nonché con quattro progetti di ricerca di interesse nazionale (PRIN99, PRIN01, PRIN03, PRIN07) cofinanziati dal MIUR, di cui i primi tre coordinati a livello nazionale e locale dal direttore del CEMeC, ed il quarto dal prof. Pietro De Palma, responsabile della LR2. I suddetti 4 progetti sono relativi ad importanti attività di ricerca in ambito aerospaziale: "Sviluppo delle metodologie innovative per la fluidodinamica numerica delle turbomacchine"; "Strumenti avanzati di validazione computazionale per flussi complessi nelle turbomacchine"; "Simulazione di flussi di interesse industriale mediante metodi numerici avanzati e modelli di turbolenza multiscala"; "Sviluppo di modelli numerici innovativi per la simulazione fluidodinamica di veicoli aerospaziali".

Numerose sono anche le collaborazioni scientifiche con Università straniere, in Europa (Oxford, Cambridge, ENSAM-Parigi, Fraunhofer Institute for Computer Graphics Research in Darmstadt, Germania, University "Transilvania" of Brasov, Romania, TU Graz, Austria, Institute of Metal Forming and Metal Forming Machines, Hannover, Germania), negli USA (Stanford, Virginia Tech, MIT, National Institute of Aerospace, University of Maryland, University of Minnesota, Mississippi State University, University of Michigan, University of California at Davis), in Canada (Queen's University, Ontario) ed in Cina (Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Sheniang).

Per quanto concerne i rapporti con le imprese si segnalano sporadiche interazioni. In particolare il CEMeC ha svolto una attività di consulenza e ricerca con il Centro Italiano di Ricerche Aerospaziali (CIRA) nell'ambito del programma ACADEMIA. Tuttavia, molti dei docenti afferenti al CEMeC hanno rapporti di collaborazione che hanno preferito gestire tramite il Dipartimento di afferenza, in quanto il CEMeC non ha ancora una struttura amministrativa autonoma. Recentemente due progetti del CEMeC sono stati selezionati per essere finanziati nell'ambito del progetto di reti di laboratori pubblici di ricerca finanziati dalla regione Puglia: "*Aerospace plasma-fluid-dynamics and radar-imaging laboratory*"; "*Tecniche di Ricerca Avanzate per lo Studio e l'implementazione della FORMAtura con mezzi flessibili di leghe leggere tramite l'utilizzo di superfici ad attrito controllato e lamiere saldate di differente spessore (acronimo: TRASFORMA)*"

Le strutture ed il know how del centro sono a disposizione del territorio.

Maggiori informazioni sulle attività del CEMeC sono disponibili sul sito <http://cemec.poliba.it>

Il Direttore del CEMeC è raggiungibile all'indirizzo napolita@poliba.it Ulteriori informazioni sono disponibili sulla rubrica del sito www.poliba.it

a) Relazione sulle attività realizzate e i risultati conseguiti a chiusura del progetto cofinanziato ai sensi del D.M. 31 gennaio 2001.

La presente relazione è, per ovvie ragioni, ripresa dalla relazione finale presentata al MIUR al termine del progetto e riporta, per ciascuna linea di ricerca, quanto indicato al punto 5.1 (Consuntivo della ricerca svolta e analisi dei risultati) per ciascuna LR. A tale consuntivo, si rimanda per l'elenco completo delle pubblicazioni e per ulteriori informazioni.

LR 1 (responsabile Roberto VERZICCO).

L'obiettivo della linea di ricerca (LR) di simulazione diretta e Large Eddy Simulation (DNS & LES) di flussi turbolenti era di effettuare delle simulazioni numeriche di flussi ad alta risoluzione in modo da poter costituire un database di riferimento consultabile dai ricercatori del CEMeC e, su richiesta, da ricercatori esterni. Lo scopo di questo database è di permettere lo studio di meccanismi di base della dinamica della turbolenza e la validazione di modelli di chiusura per applicazioni LES e RANS. Alla fine del terzo anno di attività del CEMeC questi obiettivi sono stati raggiunti, avendo effettuato delle simulazioni numeriche dirette (DNS) che, nel loro campo, vengono ritenute lo stato dell'arte. Più in dettaglio, nel campo della turbolenza convettiva sono state effettuate simulazioni a numeri di Rayleigh fino a 2×10^{13} , richiedendo griglie di calcolo di 160 milioni di nodi. È bene sottolineare che il valore $Ra = 2 \times 10^{13}$ è più elevato di quello raggiungibile dalla maggior parte degli esperimenti attualmente realizzati, per questo motivo, i dati ottenuti dalle simulazioni numeriche descritte vengono utilizzati come benchmark per le teorie sulla turbolenza convettiva e per validare apparati sperimentali. Una collaborazione su questo argomento è in corso con il Prof. K. Sreenivasan direttore dell'ICTP (International Centre for Theoretical Physics).

Parallelamente, il dott. Stefano Leonardi, PostDoc presso il CEMeC, ha realizzato (utilizzando il cluster di calcolo del CEMeC) delle simulazioni numeriche di turbolenza di parete in presenza di rugosità. Anche in questo caso le simulazioni, condotte in collaborazione con il prof. R.A. Antonia della University of Newcastle (Australia), hanno ricevuto notevole interesse in campo internazionale, ed i risultati sono stati pubblicati sulle riviste più prestigiose del settore.

L'interazione tra la turbolenza convettiva e la turbolenza su pareti rugose, è seguita dall'Ing. G. Stringano nell'ambito del dottorato di ricerca in Ingegneria Meccanica (DRIM). Un ulteriore argomento è l'utilizzo del metodo dei contorni immersi per la simulazione di flussi in geometrie complesse. Questo argomento è stato seguito dall'Ing. G. Iaccarino (in stretta collaborazione con la Stanford University) e dall'Ing. A. Cristallo (in collaborazione con la University of Maryland) entrambi appartenenti al DRIM. L'Ing. Iaccarino ha affrontato principalmente problemi di interesse industriale con modellistica RANS. L'Ing. Cristallo sta invece affrontando problemi di biofluidodinamica e, più in particolare, la simulazione numerica diretta del flusso sanguigno in una valvola cardiaca meccanica. Attualmente l'Ing. Cristallo si trova presso l'Università del Maryland, dove trascorrerà un intero anno, e collabora ad un progetto finanziato dal NIH (National Institute of Health) sulla fluidodinamica delle valvole cardiache meccaniche. Anche in questo caso i risultati hanno riscosso un notevole interesse in campo internazionale come è testimoniato dall'assegnazione all'Ing. Iaccarino ed al Prof. Verzicco di un articolo di review sulla rivista dell'ASME Applied Mechanics Review.

In questo ultimo anno è stata infine avviata un'ulteriore collaborazione con la Stanford University per lo studio della combustione turbolenta in fiamme non premiscelate. Tale collaborazione ha permesso di sviluppare all'interno del CEMeC competenze sulla combustione che precedentemente non erano presenti.

La visibilità internazionale dei risultati raggiunti è testimoniata dal cospicuo numero di Invited Lectures ottenute dal Responsabile della presente Linea di Ricerca: March Meeting of American Physical Society 2002 (Indianapolis, USA), Vth World Congress of Computational Mechanics (Wien, Austria), Euromech Colloquium 443 on "High Rayleigh number thermal convection" (Twente, The Netherlands), AIMETA GIMC 2004 (Genova, Italy), ETMM6 (Sardinia Italy).

LR 2 (responsabile Pietro DE PALMA).

La presente LR affronta le due difficoltà principali che rendono le simulazioni numeriche non ancora del tutto soddisfacenti per la progettazione aerodinamica e termo-fluidodinamica avanzata di componenti di aeromobili e turbomacchine. La prima di queste è nel limite teorico degli attuali metodi numerici per la soluzione delle equazioni di Navier-Stokes. La seconda difficoltà riguarda la modellistica dei complessi fenomeni legati alla transizione e alla turbolenza.

Nei metodi numerici standard, i termini di avvezione, che governano i fenomeni di propagazione e di formazione di discontinuità in flussi transonici, sono basati su modelli di propagazione ondosa monodimensionali. Nel presente lavoro di ricerca sono stati sviluppati schemi genuinamente multidimensionali seguendo l'approccio noto come Fluctuation Splitting (FS) che rappresenta uno dei metodi numerici per griglie non strutturate più promettenti proposti negli ultimi anni. Uno schema innovativo per flussi transonici è stato ottenuto combinando mediante una strategia non lineare due schemi matriciali lineari esistenti. Inoltre, poiché il flusso nelle turbomacchine è essenzialmente non stazionario, risulta indispensabile estendere la metodologia FS a tali casi. A tal fine sono state utilizzate due diverse strategie: la prima è basata su schemi della famiglia Lax--Wendroff; la seconda su una tecnica a due livelli temporali (dual time stepping). In particolare, nell'ambito di questa seconda metodologia, sono stati proposti un nuovo schema di discretizzazione del termine non stazionario e una nuova procedura non lineare per eliminare le oscillazioni spurie della soluzione numerica. Inoltre, la metodologia implicita ha permesso la formulazione di schemi multidimensionali con accuratezza superiore al secondo ordine nello spazio e nel tempo. Parallelamente, è stato avviato lo studio dei metodi di tipo FS per celle quadrangolari, al fine di sviluppare un codice

di calcolo per griglie ibride, particolarmente adatto a simulazioni di fluidodinamica delle macchine. Tale studio di base ha evidenziato ulteriori proprietà degli schemi FS, non note nella letteratura precedente, che potrebbero essere utili per lo sviluppo di metodi numerici accurati per le equazioni di Navier-Stokes.

Per quanto riguarda lo sviluppo di modelli di transizione e turbolenza per applicazioni industriali, recentemente è stato sviluppato un sofisticato codice di calcolo basato su modelli di tipo Algebraic Reynolds Stress Model (EASM) combinati con modelli di transizione per flussi separati e impiegato per calcoli tridimensionali in turbine e compressori. Per flussi transonici, l'interazione tra urto e strato limite risulta essere determinante per la dinamica della transizione. E' stato quindi impiegato il modello di transizione di Abu-Ghannam, verificandone i limiti di validità nei confronti di tale complessa configurazione di flusso [ref. 10]. Successivamente, sono stati considerati modelli di transizione più sofisticati, basati su una equazione differenziale addizionale.

Infine, è stato sviluppato un codice di calcolo per flussi bi- e tridimensionali in grado di simulare un ampio intervallo di regimi di moto, da basso-subsonico (al limite incomprimibile) a supersonico. Il codice è basato su una discretizzazione del dominio di calcolo di tipo multi-blocco ed è stato implementato sul calcolatore parallelo a memoria distribuita IBM Cluster 1300, con 32 processori, acquistato utilizzando i fondi del CEMeC. Grazie all'impiego di tale calcolatore è stato possibile validare con successo l'intera metodologia. Inoltre, in collaborazione con i ricercatori impegnati nella linea di ricerca 1 (Simulazione della turbolenza), la tecnica dei contorni immersi è stata implementata nel codice parallelo multiblocco ed estesa al calcolo di flussi comprimibili.

LR 3 (responsabile Luciano CATALANO).

Nei primi due anni di attività, si è sviluppata una tecnica di ottimizzazione gradient-based progressiva per la progettazione fluidodinamica di profili alari e schiere bi- e tridimensionali in condizioni di flusso transonico non viscoso; le applicazioni proposte dimostrano che i tempi richiesti dal processo di ottimizzazione sono solo da 3 a 5 volte maggiori di quello richiesto da un calcolo di analisi su singola griglia. La metodologia si basa sull'idea di far convergere contemporaneamente l'ottimizzatore, la soluzione del flusso e la soluzione del sistema aggiunto per il calcolo delle derivate. L'uso di griglie via via più fini consente inoltre di incrementare progressivamente l'accuratezza.

Parallelamente si è sviluppata una nuova tecnica di calcolo *upwind* per flussi comprimibili turbolenti su griglie non strutturate, comprendente anche una nuova formulazione del modello di turbolenza kappa-omega. I risultati pubblicati, confrontati con altri metodi di ricostruzione e con metodi basati su modellistica multidimensionale dimostrano ottima accuratezza e ottima risoluzione degli urti.

Si è inoltre provveduto a velocizzare tutti i codici di analisi, dotandoli di tecniche di accelerazione della convergenza di tipo Implicit Residual Smoothing e Multigrid con Coarsening e Semi-Coarsening (solo per il codice strutturato).

Una tecnica di ottimizzazione progressiva simile a quella precedentemente citata è stata sviluppata per il caso di solutori fluidodinamici commerciali, per i quali non è disponibile il sorgente e risulta impossibile utilizzare la formulazione aggiunta. La metodologia ed il relativo codice, basati su un approccio alle differenze finite per il calcolo delle derivate, sono stati utilizzati per la progettazione termofluidodinamica di un post-combustore per impianti combinati (Ansaldo-Caldaie) e per la progettazione di iniettori ed eiettori per perforatori a circolazione inversa (SAPIM).

Recentemente, è stato poi sviluppato un metodo numerico per la generazione di insiemi di profili ortogonali, che consentono una più corretta definizione del problema di ottimizzazione e, conseguentemente, una più rapida convergenza; inoltre, è stata sostituita la tecnica *adjoint* con un metodo alle differenze finite denominato MAFD (*Multigrid-Aided Finite-Difference sensitivities*), ben più efficiente dell'approccio standard, già testato sul progetto di post-bruciatori: con le stesse *subroutines* usate per il *Multigrid*, viene calcolato e memorizzato l'errore di troncamento relativo locale (ETRL) tra griglie rada e fine; le derivate di sensitività vengono quindi calcolate mediante differenze finite dei valori della funzione obiettivo, ottenuti perturbando la geometria e calcolando la soluzione del flusso sul livello più rado, con l'ausilio dell'ETRL precedentemente calcolato, in modo da mantenere l'accuratezza della griglia fine; questo approccio, assolutamente innovativo, è molto efficiente e la sua applicazione è indipendente dal modello e/o dalla discretizzazione.

La combinazione della strategia progressiva, della tecnica MAFD e dei profili ortogonali, è stata convalidata considerando il progetto inverso di una palettatura statorica svergolata, in condizioni non viscoso transoniche, il progetto inverso di profili alari in condizioni di flusso transonico non viscoso e laminare, e l'ottimizzazione del rapporto portanza-resistenza di un profilo alare.

E' stato infine messo a punto un codice sequenziale di ottimizzazione genetico/gradient-based, con progressiva convergenza del flusso e progressivo raffinamento della griglia: l'applicazione al progetto inverso di profili alari mostra che si riesce a mantenere la stessa efficienza del metodo gradient-based, limitando l'applicazione del codice genetico su una griglia due volte più rada di quella finale. Tale approccio consentirà di affrontare efficacemente problemi di ottimizzazione fortemente vincolati, caratterizzati da estremi locali e di frontiera.

LR 4 (responsabile Giuseppe PASCAZIO).

Il fenomeno del *flutter* consiste in un'instabilità aeroelastica che si verifica quando le forze agenti su una struttura generano oscillazioni libere di ampiezza rapidamente crescente che possono portare al danneggiamento dell'intera macchina. Nel campo delle turbine a gas, il fenomeno del *flutter* è ben noto, in quanto si può verificare nelle schiere rotoriche caratterizzate da un elevato rapporto altezza/corda, e la sua analisi nella fase di progettazione è spesso condotta mediante correlazioni empiriche, che generalmente conducono ad incrementi di peso e riduzione delle prestazioni del progetto finale.

Obiettivo principale di questa linea di ricerca è lo sviluppo di tecniche numeriche accurate ed efficienti per l'analisi del *flutter* e per la progettazione aerodinamica delle palettature di turbomacchine, che possano essere integrate nelle procedure industriali di progettazione.

Una delle attività condotte ha portato allo sviluppo di un metodo molto efficiente per la soluzione delle equazioni di Navier-Stokes mediate alla Reynolds (RANS) non stazionarie, in grado di ottenere soluzioni in presenza di corpi vibranti in configurazioni bidimensionali. In tale metodologia, ciascun vano palare è discretizzato mediante una metodologia di tipo multi blocco con una griglia a C fissa e una seconda griglia a C, parzialmente sovrapposta alla prima, che si muove in maniera solidale alla pala. Le equazioni RANS sono risolte usando lo schema *flux difference splitting* di Roe accurato al secondo ordine per i termini convettivi, una discretizzazione centrata al second'ordine per i termini viscosi ed una su tre livelli per le derivate temporali. L'avanzamento della soluzione nel tempo è realizzato mediante la tecnica di *dual time stepping*. La metodologia numerica è stata applicata con successo al calcolo di due casi test bidimensionali, noti in letteratura come quarta e undicesima *Aeroelastic Standard Configuration* (ASC). In particolare, per il secondo caso, i dati sperimentali disponibili sono abbastanza limitati a causa della complessità del fenomeno. Utilizzando il codice di calcolo sviluppato è stato possibile determinare la risposta dinamica del sistema in maniera dettagliata. I risultati sono reperibili su <http://cemec.poliba.it/cfd4.htm>.

La metodologia sopra descritta è stata, quindi, estesa al calcolo di flussi tridimensionali sviluppando una strategia di deformazione della griglia di calcolo più flessibile della precedente, in cui si utilizza un'unica griglia a C, i cui punti vengono ridistribuiti, in accordo al moto della pala, preservando la qualità della griglia iniziale. La strategia ha consentito di risolvere con successo il flusso tridimensionale relativo alla quarta ASC. Al fine di studiare l'interazione fluido-struttura nel caso di flussi incomprimibili, è stata sviluppata una metodologia numerica accurata ed efficiente basata sulla formulazione velocità-vorticità delle equazioni del moto, che usa una discretizzazione spaziale centrata accurata al secondo ordine e una implicita all'indietro su tre livelli nel tempo, unitamente alla tecnica di *dual-time stepping*. L'efficienza del metodo è stata migliorata mediante l'uso di metodi di rilassamento avanzati e di una strategia multi blocco che ha consentito la parallelizzazione del codice di calcolo.

Un approccio alternativo per l'analisi del *flutter* nelle turbomacchine è rappresentato dall'analisi lineare, in cui le variabili di flusso vengono sviluppate in serie di Fourier e le equazioni (RANS) vengono linearizzate e risolte per ciascuna armonica. Tale metodo presenta il vantaggio di richiedere modeste risorse di calcolo e, quindi, di poter essere immediatamente applicabile nella pratica progettuale. Tale attività è stata sviluppata nell'ambito di una collaborazione con il prof. M. Giles dell'Università di Oxford (UK) che ha portato nell'ultimo anno a simulazioni di flussi bi- e tri-dimensionali in turbine e compressori.

LR 5 (responsabile Giuseppe DEMELIO).

Il danneggiamento nella fatica da *fretting* è stato sinora associato sia all'effetto dell'erosione meccanica, sia alla concentrazione delle tensioni. I recenti studi effettuati presso il MIT dal gruppo di Suresh e Giannakopoulos hanno individuato nella concentrazione delle tensione il fattore dominante.

Nel primo anno, partendo dai modelli sviluppati presso il MIT (*Crack Analogue & Notch Analogue*), è stato incluso l'effetto del bulk stress e dello slittamento parziale nel C.A., mentre nel N.A., è stata individuato un metodo semplificato per il calcolo del Kt nel caso di scorrimento parziale per la geometria piatta raccordata, più rispondente al caso di dovetail joint.

Nel secondo anno i modelli citati, per i quali non era stato indicato un criterio di scelta, sono stati integrati tra loro, pervenendo al criterio di progetto a vita infinita "CEMeC-CLNA" (*Crack-Like Notch Analogue*), basato estensione della teoria sviluppata dai Prof. Atzori-Lazzarin per i normali intagli. La verifica del modello CLNA, è stata effettuata con prove presso il Politecnico e in collaborazione con l'Università di Oxford. del Prof. A.Keane dell'Università di Southampton (UK), i modelli di contatto sviluppati presso il CEMEC sono stati inclusi nei software FEM da loro messi a punto dal gruppo del Prof. A.Keane (Univ. Di Southampton) con la Rolls-Royce per l'analisi dei collegamenti delle palettature di turbine a gas .

Nel terzo anno di attività, si è studiata l'estensione del modello CLNA alla valutazione del comportamento a fatica a vita finita e ad altre geometrie e condizioni di carico. E' stata intrapresa l'attività di validazione sperimentale del modello con lo studio di una attrezzatura di tipo grip type, realizzata presso il DIMEG e utilizzata in una campagna di prove con lo stesso materiale delle prove realizzate ad Oxford.

La *Rolling Contact Fatigue* (RCF) è divenuto un problema di grande importanza sulla scia dei gravi incidenti accaduti in Inghilterra (Hatfield 17/10/2000). Gli studi conseguenti, seguiti da fasi di manutenzione estremamente dispendiose, hanno evidenziato la difficoltà nel prevedere l'insorgere di cricche di fatica. Nel contatto ruota-rotaia si ha ampio riscontro di deformazione plastiche. Ciò comporta una modalità di rottura particolare che prevede una fase di innesco a *ratchetting* e una fase di propagazione spesso accelerata a causa di acqua in pressione che entra nelle cricche affioranti.

Nell'ambito del nostro lavoro di ricerca sono stati studiati i limiti di *shakedown* e di *ratchetting* con modelli realistici. Lo studio del *ratchetting* è stato effettuato adottando vari modelli costitutivi. Un primo risultato è stato quello di rielaborare i risultati classici sperimentali di *ratchetting* di Merwin, notando (dopo oltre 40 anni) che Merwin, nell'utilizzare la più semplice legge costitutiva possibile, ossia la elastica-perfettamente plastica, aveva arbitrariamente fissato il limite di snervamento in modo diverso tra i vari materiali, al fine di estrapolare il punto di inizio del *ratchetting* stesso. Sono stati studiati con gli elementi finiti i processi deformativi nel contatto piano con attrito (di puro slittamento) con modelli perfettamente plastico, cinematico lineare e di Chaboche.

Lo studio ha anche valutato la possibilità di giustificare e recuperare di alcuni trattamenti empirici per la determinazione del limite di fatica e della curva di Wöhler con l'estensione delle formule di Buckingham per le ruote dentate.

È stata valutata l'applicazione del criterio di Dang Van agli stati tensionali di cui sono note soluzioni in forma analitica. Si è introdotta una correzione al risultato in letteratura dovuto a Ekberg Kabo e Andersson, che suggerivano indipendenza del parametro di Dang Van dalle tensioni residue e dalle tensioni idrostatiche. Tuttavia, i limiti previsti dalla teoria di Dang Van appaiono elevati, probabilmente perché la stessa è stata sviluppata per casi di componente idrostatica positiva (di trazione).

LR 6 (responsabile Michele CIAVARELLA).

In sistemi frenanti e di frizione il calore d'attrito causa instabilità termoelastica (TEI), con la creazione di *hot spots*, dove si raggiungono elevate pressioni e temperature. Il problema in regime di contatto completo è lineare e può essere scomposto in due parti: una perturbativa omogenea dipendente solo dalle caratteristiche del sistema e dalla parte omogenea delle condizioni al contorno; l'altra caratterizzata da una soluzione media non-omogenea, da cui dipendono le temperature medie. La componente perturbativa, a velocità costante, si instaura al di sopra di una velocità di slittamento critica V_{cr} , causata dal feedback tra localizzazione di pressione di contatto p e incremento locale della distorsione termoelastica dovuta alla maggiore generazione locale di calore per attrito $q=fpV$. Le maggiori o più evidenti conseguenze di questo fenomeno sono il degrado delle superfici, rumore e vibrazioni. La presenza di problemi di contatto e termici accoppiati induce difficoltà nel simulare reali sistemi frenanti in 3D e al transitorio con normali software commerciali, e pertanto questa linea di ricerca, in stretta collaborazione con il Prof. Barber della Università del Michigan (USA), da un lato sviluppa metodi analitici e simulazioni numeriche su modelli semplificati (come sistemi composti da semipiani o *layers* o insiemi di travi), dall'altro sviluppa metodi di simulazione numerica ad hoc.

Per quanto concerne i metodi analitici perturbativi, ci si è concentrati in particolare sulla stima della velocità critica V_{cr} in funzione delle proprietà termoelastiche dei materiali e della geometria del sistema, e sull'evoluzione transitoria del sistema nel regime lineare (contatto completo). Le soluzioni semi-analitiche dedotte sono limitate all'analisi a geometrie relativamente semplici (2D o al più assialsimmetriche: layer slittante tra due semipiani rigidi, modello *multilayer* 2D). In particolare, dall'analisi del modello *multilayer* 2D si è rilevato che l'amplificazione della temperatura può essere contenuta incrementando lo spessore del disco di attrito e riducendo quello del disco di metallo, in contrasto con le procedure di progettazione tradizionali che realizzano i dischi di metallo più spessi per ridurre la temperatura media del sistema e quelli d'attrito più sottili per contenere i costi e la durata del ciclo d'innesto.

Si è poi studiato il fenomeno della separazione del contatto, che diventa significativo se la permanenza alle velocità sopracritiche è sufficientemente duratura. In particolare, sono stati considerati il modello della trave singola, quello di Aldo (due travette in parallelo in equilibrio con una forza verticale) e quello di due semipiani slittanti fuori piano. L'interazione tra instabilità indotta da resistenza di contatto, e quella più tipica del TEI ha permesso di riconoscere certe proprietà generali del regime separato e dare definizioni più generali di velocità critiche non precedentemente riconosciute. Lo studio dei due semipiani in particolare ha permesso di classificare le coppie di materiali in base alle loro proprietà termoelastiche estendendo la classificazione di Zhang e Barber del caso statico. Lo studio analitico è stato poi spinto al punto da trovare teoremi matematici generali per il contatto estendendo il lavoro di Duvaut del caso statico al caso di slittamento per velocità sufficientemente basse. Al di sopra di tali velocità i risultati analitici del modello di trave permettono di supporre la possibilità di non esistenza della soluzione associata a possibili soluzioni oscillatorie o di *seizure* (grippaggio) del contatto.

Parallelamente, si sono anche studiati gli effetti della rugosità sulla resistenza di costrizione, con modelli multiscala innovativi. In particolare, si è sviluppato un modello che comprime la rugosità in un layer equivalente non-lineare,

che permette di risolvere il problema multiscala completo con l'uso ricorsivo di un modello a due scale, con evidenti vantaggi computazionali.

LR 7 (responsabile Luigi MANGIALARDI).

L'attività di ricerca condotta sulla trasmissione a rapporto continuamente variabile (CVT) ha riguardato la modellazione teorica della dinamica dei transitori dei CVT a pulegge espandibili sia a cinghia metallica che in elastomero rinforzato. Lo scopo è stato quello di sviluppare un modello dinamico del sistema da utilizzare come strumento predittivo della dinamica transitoria del CVT. La necessità di un tale modello predittivo è particolarmente sentita per quel che concerne la progettazione del sistema idraulico e della logica di controllo del variatore. Alla fine del terzo anno di attività del CEMeC questo obiettivo è stato raggiunto. In particolare è stato messo a punto un modello predittivo del variatore CVT a cinghia metallica i cui dettagli tecnici sono in fase di stampa su una prestigiosa rivista internazionale. Il modello è stato il risultato di una lunga attività di ricerca come testimoniato da diverse pubblicazioni. Attualmente è in corso una collaborazione con la Van Doorne's Transmissie (NL) del gruppo Bosch, che è leader mondiale nella produzione di CVT a pulegge espandibili. Tale collaborazione ha lo scopo da un lato di testare l'affidabilità del modello proposto e dall'altro di utilizzarlo come input per la progettazione del sistema di controllo della trasmissione. Ulteriori campi di indagine hanno riguardato i consumi, le emissioni inquinanti e il confort di veicoli equipaggiati con CVT a pulegge espandibili e toroidali. Le simulazioni effettuate in ciclo ECE urbano ed extra-urbano hanno dimostrato che l'adozione dei CVT può portare ad una importante riduzione dei consumi fino al 10%, oltre che a un notevole miglioramento del confort di marcia. La soluzione adottata nei veicoli pesanti da trasporto passeggeri ha previsto l'adozione di un variatore CVT toroidale in grado di trasmettere coppie più elevate del CVT Van Doorne. Ciò ha spinto il gruppo di ricerca a sviluppare un modello matematico di simulazione di tali trasmissioni al fine di valutarne le prestazioni in termini di efficienza meccanica e capacità di trasmettere coppia. Due differenti soluzioni funzionali sono state messe a confronto: la trasmissione toroidale *Half-Toroidal* e quella *Full-Toroidal*, entrambe a doppia cavità, ed è stato dimostrato che la prima presenta rendimenti meccanici mediamente superiori di 5 punti percentuali rispetto alla seconda tipologia ed ha una capacità di trasmettere coppia più elevata. Le ragioni di questa differenza risultano derivare dalle più basse perdite di spin dell'*half-toroidal* CVT. Altra tematica di ricerca è stata lo studio, mediante tecniche *multibody*, di problemi di meccanica dell'impatto, sia nell'ambito degli infortuni sul lavoro, che in quello degli incidenti stradali. In particolare lo studio è stato rivolto alla progettazione funzionale di sistemi di sicurezza per gli operatori di carrelli elevatori e trattrici agricole, avente lo scopo di prevenire i rischi da ribaltamento e caduta di gravi (grazie a dispositivi con funzione di ROPS e FOPS) e allo sviluppo di modelli *multibody* di incidenti stradali con lo scopo di fornire elementi utili alla progettazione funzionale di dispositivi di sicurezza. L'analisi del danno biologico ai soggetti interagenti con i sistemi e le macchine studiati, è stata condotta attraverso criteri di valutazione delle lesioni, che legano il danno subito alle grandezze cinematiche e dinamiche calcolate. Lo strumento di calcolo utilizzato è stato il solutore MADYMO (*TNO Automotive*). Nell'ultimo anno di attività è stato inoltre intrapreso uno studio più legato ai CVT con cinghia in materiale elastomerico. Lo studio si è concentrato sugli effetti che la rugosità superficiale e le forze di adesione hanno sul coefficiente di attrito tra elastomero e superficie metallica e sulla effettiva area di contatto, che così tanto influenzano l'efficienza meccanica e la capacità di trasmettere coppia del sistema.

LR 8 (responsabile Giuseppe MONNO).

In stretto contatto con le altre LR e con altri partner internazionali, la presente LR ha operato principalmente nel settore CAD dove l'attività è stata focalizzata allo sviluppo di ambienti di *Mixed-Realities* come la *Virtual* e la *Augmented Reality* per l'esplorazione di nuove tecniche e metodologie applicate alla progettazione e alla analisi e manipolazione di dati di interesse ingegneristico. L'impegno è stato centrato principalmente sulla interazione uomo-macchina, sulle tecniche di visualizzazione in stereografia, sull'input tridimensionale associato al riconoscimento di gesti e voce mediante intelligenza artificiale.

La prima fase di attività di questa linea di ricerca ha interessato il progetto e la realizzazione di uno "spazio lavoro" in realtà virtuale immersiva mediante visualizzazione stereoscopica e tracciamento della posizione tridimensionale di testa e mani dell'utente navigatore. Per ciò che riguarda la visualizzazione, si è scelto di acquisire un sistema di proiezione a due sorgenti LCD polarizzate, garantendo, grazie alla elevata luminosità delle sorgenti, una visualizzazione stereoscopica passiva anche in condizioni di luce ambiente. Per ciò che riguarda il tracciamento della posizione dell'utente si è scelto un sistema ottico che garantisce una precisione di 0.2 mm ed una totale assenza di distorsioni nelle misure all'interno del volume di lavoro. Questa precisione, irraggiungibile con i sistemi di tracking di vecchia generazione come quelli di tipo magnetico, è assolutamente fondamentale per gli obiettivi di questa linea di ricerca. Il sistema realizzato ha un volume di lavoro di 2x2x2,5 m in grado quindi di fare immergere uno o più utenti all'interno dell'ambiente sintetico tridimensionale. Una parte importante della ricerca è stata focalizzata sulla valutazione qualitativa e quantitativa della precisione umana durante operazioni di puntamento e manipolazione con input 3D e ha portato a importanti risultati. I nuovi strumenti hardware/software che sono stati

sviluppati hanno permesso di migliorare i fattori di precisione, ergonomia ed affaticamento dell'utente che deve interagire in un ambiente virtuale quando analizza e visualizza dati scientifici. In particolare nell'ultimo anno è stato sviluppato un prototipo di penna ergonomica wireless con tracking a 6 gradi di libertà e forze feedback, specifica per l'analisi dei dati.

In parallelo all'allestimento hardware del sistema di spazio lavoro immersivo, l'attività di ricerca dal lato software si è orientata su due settori: in uno si è curata l'analisi e la sperimentazione di nuove metafore all'interno di un ambiente immersivo per l'interazione, la manipolazione, ed il controllo di geometrie semplici e complesse quali quelle necessarie per la visualizzazione scientifica; nell'altro ci si è focalizzati sullo studio degli algoritmi di *Reverse Engineering* che permettessero l'estrazione di curve e superfici significative nell'analisi dei dati. In particolare sono state studiate applicazioni di visualizzazione riguardanti *dataset* di grandi dimensioni anche dipendenti dal tempo mediante rappresentazioni con differenti livelli di dettaglio. Gli algoritmi sono stati applicati come fase di *postprocessing* a risultati di simulazioni sia fluidodinamiche, sia strutturali ottenuti da altre linee di ricerca.

Le collaborazioni internazionali con importanti istituzioni come l'IDAV della University of California, Davis, USA, il Fraunhofer Institute for Computer Graphics (IGD) di Darmstadt, Germania e la Fondazione GraphiTech di Rovereto, hanno portato a scambi di risorse umane che hanno coinvolto, gli ing. Uva, Fiorentino, Renzulli e il Dr. Kreylos. L'attività scientifica ha portato alla pubblicazione di 20 memorie.

LR 9 (responsabile Luigi TRICARICO).

In stretto contatto con il territorio e con partner internazionali, la presente LR ha operato principalmente nel settore delle lavorazioni per deformazione plastica. L'attività scientifica ha portato alla pubblicazione di 45 memorie; quella di formazione ha coinvolto tecnici ed ingegneri di n. 12 aziende, dottorandi del Politecnico di Bari (n. 3), neo-ingegneri in stage di formazione presso le aziende (n. 7), studenti di Master provenienti da altre Università Italiane (n. 1), studenti del Politecnico di Bari impegnati in Tesi di Laurea (n. 46). Le collaborazioni internazionali hanno portato nel mese di luglio 2004 al cofinanziamento da parte dell'Istituto per il Commercio Estero di un progetto che prevede la collaborazione tra Italia e Cina. Le collaborazioni con le aziende hanno portato nel mese di luglio 2004 alla scrittura di n. 2 progetti di Innovazione Tecnologica (misura 2.1.a - PIA Innovazione), in corso di valutazione da parte del Ministero delle Attività Produttive.

Classificati per processo analizzato, si evidenziano i seguenti risultati: (1) Formatura dei tubi saldati di grande diametro: in collaborazione con l'ILVA-TA, sono stati correlati con modelli agli Elementi Finiti i principali parametri di processo e le difettologie del prodotto. (2) Caratterizzazione del comportamento plastico delle lamiere: sono stati implementati nella simulazione FE alcuni modelli di rottura duttile (Tvergard & Needlman, Cockroft & Latham, Oh) adottando un approccio di caratterizzazione inversa; i modelli sono stati applicati allo studio della formabilità di lamiere saldate al fascio laser (*Tailor Welded Blank*) con linee di saldatura diversamente orientate ed alla simulazione di processi di formatura. (3) Piegatura di Lamiere e di Prodotti Estrusi a sezione cava: sono stati messi a punto modelli 2D e 3D del processo di piegatura in aria di lamiere di elevato spessore (ditta OM - PIMESPO di Bari), di piegatura in stampo di lamiere sottili (ditta BOSCH - Bari), di piegatura per rulli (ditta CORSARO LISCO - Bari) e di piegatura di estrusi a sezione cava (ditta MASTER di Conversano); i modelli hanno permesso di individuare le condizioni critiche di piegatura al variare dei parametri di processo. (4) Tecniche innovative di formatura della lamiera: sono stati analizzati con approccio numerico-sperimentale i processi di imbutitura idromeccanica, idroformatura di lamiere e tubi, formatura superplastica e con gradienti di temperatura. Lo studio ha permesso di individuare gli effetti dei principali parametri di processo (legge di pressione, forza sul premi-lamiera, geometria della matrice, microstruttura delle lamiere, eventuali linee di saldatura, eventuali gradienti termici sovrapposti alla lamiera) sulla formabilità di lamiere in acciaio e in leghe leggere (alluminio e magnesio). (5) *Precision Forging*: integrando tecniche FE, *Neural Network* e *Design of Experiment* sono state progettate attrezzature prototipo (ditta ITALTRACTOR di Potenza).

b) Relazione sulle attività svolte dalla chiusura del progetto cofinanziato e attualmente in corso di svolgimento, con indicazione delle relative fonti di finanziamento.

Nella relazione finale del triennio di cofinanziamento erano previste esplicitamente tre attività, con finanziamenti da parte del CIRA, del Ministero delle attività produttive (MAP) e del National Institute for Health (USA). Dei tre progetti, il primo è stato svolto interamente nell'ambito del CEMeC ed il finanziamento ricevuto pari a € 77950 + IVA è stato gestito dal CEMeC stesso. Di esso verrà dato un resoconto scientifico nel seguito. Il secondo è stato gestito dal DIMeG. Di esso verrà dato un resoconto all'interno di quello relativo LR8. Il terzo è stato gestito dal prof. Paolo Decuzzi docente dell'Università Magna Graecia di Catanzaro, per cui non verrà discusso in questa relazione.

Ovviamente, tutti i docenti afferenti al CEMeC hanno svolto una intensa attività di ricerca nell'ambito delle varie LR. Come per la relazione precedente, si riferirà separatamente per ciascuna LR, indicando anche le principali fonti di finanziamento in aggiunta alla dotazione del CEMeC.

LR1. Simulazione della turbolenza.

Nell'ambito del progetto ACADEMIA, è stato sviluppato un pacchetto software che permette la risoluzione del flusso su geometrie complesse di reale interesse industriale, in regime di moto turbolento. La tecnica utilizzata per la descrizione della geometria del corpo è quella dei contorni immersi, che permette l'utilizzo di griglie di calcolo di tipo cartesiano (non conformi con il corpo e generabili in maniera semplice ed efficiente), introducendo, nelle equazioni che governano il moto del fluido, un campo di forze di massa tale da imporre un valore di velocità prestabilito sui nodi di griglia corrispondenti alla posizione del corpo in esame.

Il pacchetto è composto da tre moduli:

- 1) un modulo software per il processamento di geometrie complesse che permette di passare da una descrizione CAD della geometria del corpo direttamente ai termini forzanti da aggiungere alle equazioni del moto, in maniera completamente automatica basandosi su una tecnica di ray-tracing;
- 2) un modulo software per la risoluzione, con metodologie allo stato dell'arte, delle equazioni di Navier-Stokes con modellistica di tipo LES e RANS, che permette la risoluzione di flussi in un ampio campo di numeri di Mach e di Reynolds in configurazioni complesse, utilizzando griglie cartesiane non strutturate generate dal preprocessore;
- 3) un modulo software per il processamento dei dati in uscita dalla simulazione numerica, che permette il calcolo di grandezze utili ai fini della progettazione industriale (coefficienti di carico) e la presentazione in forma grafica dei campi di moto bi e tri-dimensionali.

Il pacchetto sviluppato è stato utilizzato per il calcolo di diversi flussi subsonici, transonici e supersonici su corpi esterni, come anche flussi all'interno di palette di turbina, producendo risultati accurati e in accordo con i dati sperimentali di riferimento.

Ulteriori attività.

Nell'ambito delle LR1 E LR2 sono stati affrontati dal Prof. Verzicco i temi di simulazione numerica diretta dei flussi a convezione naturale ad alti numeri di Rayleigh e la simulazione del flusso in una valvola aortica di tipo meccanico. Nel primo caso, anche grazie a parte delle risorse messe a disposizione del centro di calcolo CASPUR, sono stati esplorati regimi turbolenti che erano considerati irraggiungibili dalla simulazione numerica ed è stato realizzato un database considerato "lo stato dell'arte nel campo" con cui vengono attualmente validati apparati sperimentali e tarati alcuni strumenti di misura. In aggiunta, utilizzando le potenzialità della simulazione numerica, è stato studiato l'effetto della conducibilità finita dei contorni del dominio e ciò ha portato all'individuazione di una legge correttiva con cui sono stati ricalibrati la maggior parte dei risultati sperimentati ottenuti precedentemente; grazie a quest'ultimo studio è stata conferita al Prof. Verzicco la Frenkiel Award dell'American Physical Society nell'anno 2005.

I risultati di simulazione del flusso in una valvola aortica di tipo meccanico sono stati ottenuti mediante una modellistica estremamente raffinata ed innovativa che, a costo di un impegno computazionale notevole ma ancora sostenibile, ha permesso di osservare con estremo dettaglio locale fenomeni impossibili da cogliere sperimentalmente pur riproducendo la dinamica d'insieme dell'intero sistema. Dopo aver validato il complesso codice numerico (comprendente la parte di interazione fluido/struttura) mediante il confronto con degli esperimenti eseguiti ad hoc (dal Prof. G.P. Romano dell'Università di Roma, La Sapienza) è stato possibile impiegare questo strumento nell'analisi di molte diverse configurazioni geometriche, sia di valvola che di radice aortica permettendo di identificare le condizioni più critiche per l'impianto dalla valvola protesica. Ulteriori studi sono in corso per includere l'effetto delle arterie coronarie che si dipartono dai seni della radice aortica.

Le attività di ricerca sono state svolte prevalentemente con i fondi del CEMeC, con un finanziamento del CRS4 di Cagliari e con fondi FRA (fondo di ricerca di Ateneo)

LR2. Sviluppo di metodi innovativi per le equazioni di Navier-Stokes.

L'attività di ricerca si è sviluppata su 4 temi principali.

1. Sviluppo di metodi di tipo *residual distribution* per flussi stazionari e non stazionari.
2. Sviluppo del metodo ai contorni immersi per flussi comprimibili.
3. sviluppo di metodi per la previsione della transizione.
4. Sviluppo di metodi per il calcolo di flussi reagenti.

Qui si elencano alcune delle pubblicazioni più significative, tutte recanti nei ringraziamenti il finanziamento cofinlab del MIUR.

1. Bonfiglioli A., De Palma P., Pascazio G., Napolitano M., An implicit fluctuation splitting scheme for turbomachinery flows, Transactions of the ASME Journal of Turbomachinery, Vol. 127, April 2005, pp. 395-401 (ISSN 0889-504X).
 2. De Palma P., Pascazio G., Rossiello G., Napolitano M., A second-order-accurate monotone implicit fluctuation splitting scheme for unsteady problems, Journal of Computational Physics, Vol. 208, issue n. 1, 2005, pp. 1-33 (ISSN 0021-9991).
 3. De Palma P., de Tullio M., Pascazio G., Napolitano M., An immersed-boundary method for compressible viscous flows, Computers & Fluids, Vol. 35, issue n. 7, 2006, pp. 693-702 (ISSN 0045-7930).
 4. De Palma P., Valentini P., Napolitano M., Dissipative particle dynamics simulation of a colloidal micropump, Physics of Fluids, Vol. 18, 2006, 027103-1-12 (ISSN 1070-6631).
 5. De Palma P., Pascazio G., Rossiello G., Napolitano M., Implicit third-order-accurate residual distribution schemes for unsteady hyperbolic problems, VKI-LS-2006-01, (ISSN 0377-8312).
 6. De Palma P., Pascazio G., Rubino D. T., Napolitano M., Residual distribution schemes for advection and advection-diffusion problems on quadrilateral cells, Journal of Computational Physics, Vol. 218, issue 1, 2006, pp. 159-199 (ISSN 0021-9991).
 7. A. Grimaldi, G. Pascazio, M. Napolitano, A parallel multi-block method for the unsteady vorticity-velocity equations, CMES, Vol. 14, n. 1, 2006, pp. 45-56.
 8. Cutrone L., De Palma P., Pascazio G., Napolitano M., An evaluation of bypass transition models for turbomachinery flows, Int. J. Heat Fluid Flow, Vol. 28, issue 1, February 2007, pp. 161-177, (ISSN 0142-727X).
 9. Rossiello G., De Palma P., Pascazio G., Napolitano M., Third-order-accurate fluctuation splitting schemes for unsteady hyperbolic problems, Journal of Computational Physics, Vol. 222, issue 1, 2007, pp. 332-352, (ISSN 0021-9991).
 10. M. D. de Tullio, P. De Palma, G. Iaccarino, G. Pascazio, M. Napolitano, An immersed boundary method for compressible flows using local grid refinement, Journal of Computational Physics, Vol. 225, issue 2, 2007, pp. 2098-2117, (ISSN 0021-9991).
 11. Cutrone L., De Palma P., Pascazio G., Napolitano M., Predicting transition in two- and three-dimensional separated flows, Int. J. Heat Fluid Flow, Vol. 29, issue 2, April 2008, pp. 504-526, (ISSN 0142-727X).
 12. Rossiello G., De Palma P., Pascazio G., Napolitano M., Second-order-accurate explicit fluctuation splitting schemes for unsteady problems, Computers & Fluids, Vol. 38, issue n. 7, 2009, pp. 1384, 1393 (ISSN 0045-7930).
 13. Cutrone L., De Palma P., Pascazio G., Napolitano M., A RANS flamelet-progress-variable method for computing reacting flows of real-gas mixtures, submitted to Computers & Fluids
- Tali attività sono state svolte sia con fondi CEMeC sia con i fondi relativi ai 4 progetti PRIN coordinati dai prof. Napolitano e De Palma, sia con fondi FRA.

LR3. Flutter.

Questa linea di ricerca è stata tralasciata dopo l'ottenimento dei risultati presentati nella relazione scientifica finale e riportati nelle pubblicazioni qui sotto riportate.

1. Cinnella P., De Palma P., Pascazio G., Napolitano M., A numerical method for turbomachinery aeroelasticity, Transactions of the ASME Journal of Turbomachinery, Vol. 126, April 2004, pp. 310-316 (ISSN 0889-504X).
2. Cinnella P., Cappiello E., De Palma P., Pascazio G., Napolitano M., "A numerical method for 3D turbomachinery aeroelasticity", GT2004-54060, ASME TURBO EXPO 2004, Vienna, June 2004.

LR4. Progettazione ed ottimizzazione fluidodinamica (ottimizzazione di profili alari, di camere di combustione di caldaie, ecc.

Si è svolta una intensa attività di ottimizzazione di profili alari, prese dinamiche di turboreattori, camere di combustione di caldaie, valvole idrauliche ecc., come documentato da alcune delle pubblicazioni più significative, qui di seguito elencate.

1. SAPONARO, A. DADONE, CATALANO L.A., D. MANODORO. (2007-2009). Post-firing burner for natural gas and lean gases with a high efficiency and a low emission of nitrogen oxides. European Patent Office, No. EP 2 045 623 A1, date of filing 2/10/2007, date of publication 8/4/2009.
2. AMIRANTE R, INNONE A, CATALANO L.A. (2008). Boosted PWM open loop control of hydraulic proportional valves. ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT. vol. 49, pp. 2225-2236

3. CATALANO L.A., DADONE A, DALOISO V.S.E, SCARDIGNO D. (2008). A multigrid procedure for Cartesian ghost-cell methods. INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN FLUIDS. vol. 58, pp. 743-750
4. CATALANO L.A., DADONE A, DALOISO V. S. E. (2008). On the use of orthogonal functions in fluid-dynamic gradient-based optimization. INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN FLUIDS. vol. 56, N. 8, pp. 1175-1184.
5. CATALANO L.A., DADONE A, DALOISO V.S.E. (2008). Turbine cascade design via multigrid-aided finite-difference progressive optimization. REVUE EUROPÉENNE DE MÉCANIQUE NUMÉRIQUE. vol. 17, Nos 1-2, pp. 199-216.
6. AMIRANTE R, CATALANO L., DADONE A, DALOISO V.S.E. (2007). Design optimization of the intake of a small-scale turbojet engine. COMPUTER MODELING IN ENGINEERING & SCIENCES. vol. 18, No. 1, pp. 17-30 ISSN: 1526-1492.
7. AMIRANTE R, MOSCATELLI P.G, CATALANO L. (2007). Evaluation of the flow forces on a direct (single stage) proportional valve by means of a computational fluid dynamic analysis. ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT. vol. 48, pp. 942-953 ISSN: 0196-8904.
8. CATALANO L., DADONE A, MANODORO D, SAPONARO A. (2007). Thermal design and emissions of duct-burners for combined-cycle and cogenerative plants. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY AND MANAGEMENT. vol. 7, Nos. 1-2, pp. 165-177 ISSN: 1466-2132.
9. CATALANO L., DADONE A, MANODORO D, SAPONARO A. (2006). Efficient design optimization of duct-burners for combined-cycle and cogenerative plants. ENGINEERING OPTIMIZATION. vol. 38, No. 7, pp. 801-820 ISSN: 0305-215X.
10. AMIRANTE R, CATALANO L.A., DADONE A, LOMBARDO V (2006). On the Use of Fast-Response Pressure Transducers in a Common-Rail Diesel Injection System. In: ESDA - 8th Biennial ASME Conference on Engineering Systems Design and Analysis. Torino, July, 4-7, 2006.

Tali attività sono state svolte, oltre che con fondi CEMeC, con fondi PRIN, contratti industriali e FRA.

LR5. Fatica termica e da fretting (strofinio) in componenti di turbine a gas.

È proseguito il lavoro relativo alla messa a punto di tecniche di prova affidabili per la valutazione del comportamento a fatica da *fretting* di materiali e componenti.

In particolare si è cercato di verificare se è possibile adottare una tecnica che utilizza provini conici forzati su un anello. Il vantaggio previsto è un carico di contatto non variabile dovuto al forzamento, che produce zone di stick e slip anch'esse non variabili. Il fretting è prodotto dalle tensioni tangenziali scambiate all'interfaccia tra provino e anello forzato. La maggiore semplicità dello stato tensionale variabile nel tempo dovrebbe consentire una migliore separazione degli effetti delle variabili che intervengono.

Al proposito è stata acquistata una macchina di fatica torsionale a risonanza Rumul Cracktronic, sono stati realizzati i provini di acciaio per la costruzione di binari e in alluminio ed è stata svolta una campagna di prove su provini con anello forzato strumentato. Lo stato tensionale è stato ottenuto utilizzando il software di calcolo ad elementi finiti Ansys rel 10,0.

Sono stati messi a punto vari modelli di contatto numerico-analitici bidimensionali e tridimensionali, in grado di simulare i contatti non Hertziani tipici dei componenti soggetti a *fretting* e gli effetti della rugosità superficiale.

Alcune pubblicazioni significative.

1. Ciavarella, M., Dibello, S., Demelio, G., Conductance of rough random profiles, 2008, International Journal of Solids and Structures 45 (3-4), pp. 879-893 1.
2. Ciavarella, M., Delfino, V., Demelio, G., A "re-vitalized" Greenwood and Williamson model of elastic contact between fractal surfaces, 2006, Journal of the Mechanics and Physics of Solids 54 (12), pp. 2569-2591 4.
3. Ciavarella, M., Murolo, C., Demelio, G., On the elastic contact of rough surfaces: Numerical experiments and comparisons with recent theories, 2006, Wear 261 (10), pp. 1102-1113 5.
4. Decuzzi, P., Demelio, G.P., Pascasio, G., Zaza, V., Bouncing dynamics of resistive microswitches with an adhesive tip, 2006, Journal of Applied Physics 100 (2), art. no. 024313 7.
5. Ciavarella, M., Monno, F., Demelio, G., On the Dang Van fatigue limit in rolling contact fatigue, 2006, International Journal of Fatigue 28 (8), pp. 852-863 2.
6. Afferrante, L., Ciavarella, M., Demelio, G., On the stress concentration around a hole in a half-plane subject to moving contact loads, 2006 International Journal of Solids and Structures 43 (13), pp. 3895-3904 2.
7. Ciavarella, M., Demelio, G., Murolo, C., A numerical algorithm for the solution of two-dimensional rough contact problems, 2005, Journal of Strain Analysis for Engineering Design 40 (5), pp. 463-476 3.

8. Ciavarella, M., Murolo, G., Demelio, G., The electrical/thermal conductance of rough surfaces - The Weierstrass-Archard multiscale model, 2004, *International Journal of Solids and Structures* 41 (15), pp. 4107-4120 8.
9. Ciavarella, M., Murolo, G., Demelio, G., Barber, J.R., Elastic contact stiffness and contact resistance for the Weierstrass profile, 2004, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 52 (6), pp. 1247-1265 17.
10. Afferrante, L., Ciavarella, M., Demelio, G., A re-examination of rolling contact fatigue experiments by Clayton and Su with suggestions for surface durability calculations, 2004, *Wear* 256 (3-4), pp. 329-334.

LR6. Progettazione multilivello di freni, frizioni, cambi ed altri componenti meccanici.

La ricerca si è consolidata sullo sviluppo di una metodologia, robusta ed efficiente per lo studio e l'approfondimento dei fenomeni di instabilità d'attrito, sia di natura dinamica (stick-slip, squeal) sia di natura termica (TEI) e che interessano una vastissima gamma di applicazioni ingegneristiche (freni, frizioni) e non (terremoti). In particolare, accoppiando i due fenomeni di instabilità dinamica e termoelastica caratterizzati da importanti aspetti comuni (non ultima la matematica alla base del loro studio), si è posta l'attenzione allo sviluppo di una formulazione accoppiata che tenesse conto contemporaneamente degli effetti dinamici e termici. Tale studio ha portato alla scoperta di un nuovo fenomeno di instabilità distinta da quella dinamica e termica e che è stata denominata Instabilità TermoElastoDinamica (TEDI). In essa alcuni modi dinamici, altrimenti stabili, vengono eccitati dal calore instabilizzando il sistema. L'accertamento di tale tipologia di instabilità è stato possibile solo dopo aver messo a punto una formulazione generale accoppiata tra problema dinamico e termico (in sistemi mono- e bi-dimensionali). Più recentemente l'attività di ricerca si è estesa anche all'implementazione di modelli perturbativi con instabilità dinamiche dell'usura, mutuando l'esperienza sviluppata nel campo della corrugazione (marezzatura) dei binari ferroviari. In particolare gli studi si sono concentrati anche sull'analisi analitica in dettaglio degli effetti transitori nel contatto di rotolamento usando una tecnica di perturbazione sia sul modello semplificato di fondazione elastica di Winkler sia su modelli continui 2D e 3D, analizzando il caso di carico normale e tangenziale variabile in condizioni di full stick e partial slip. In particolare, sono stati messi a punto modelli per il calcolo della dissipazione di energia nella zona di contatto, a cui chiaramente è associato il processo di usura.

È stata inoltre posta attenzione rivolta allo sviluppo di modelli che possano tener conto anche degli effetti derivanti da un'eccitazione parametrica del sistema, che si realizza ogniqualvolta un elemento di accumulo di energia del sistema (massa o rigidità) è sottoposto a variazione periodica.

Alcune pubblicazioni prodotte su riviste internazionali (dal 2004 in poi)

1. A.R.S. Ponter, L. Afferrante, M. Ciavarella "A note on Merwin's measurements of forward flow in rolling contact" *WEAR* Volume: 256, Issue: 3-4, pp. 321-328, 2004.
2. L. Afferrante, M. Ciavarella "The thermoelastic contact model with frictional heating" *J. Mech. Phys. Solids* Volume: 52, Issue: 3, pp. 617-640, 2004.
3. L. Afferrante, M. Ciavarella "Frictionally excited thermoelastic instability (TEI) in the presence of contact resistance" *J. Strain Anal. Eng. Des.*, Vol. 34, No. 4, pp. 351-357, 2004.
4. L. Afferrante, M. Ciavarella "Instability of thermoelastic contact for two half-planes sliding out-of-plane with contact resistance and frictional heating" *J. Mech. Phys. Solids* Volume: 52, Issue: 7, pp. 1527-1547, 2004.
5. L. Afferrante, P. Decuzzi "Effect of the Engagement Law on the Thermal Damage in Multi-disk Clutch Systems" *WEAR* Volume: 257, Issue: 1-2, pp. 66-72, 2004.
6. L. Afferrante, M. Ciavarella "Separated steady state solutions for two thermoelastic half-planes in contact with out-of-plane sliding" *J. Mech. Phys. Solids*, Vol. 53, pp. 1449-1475, 2005.
7. L. Afferrante, M. Ciavarella "On ratcheting-based models of wear and rolling contact fatigue (RCF)" *MP - Materialprüfung*, Jahrg. 48 (2006) 3 - Contribution to the 7th International Conference on Biaxial/Multi-axial Fatigue and Fracture (7ICBMFF).
8. L. Afferrante, M. Ciavarella e E. Valenza "Is Weibull's modulus really a material constant? Example case with interacting collinear cracks" *International Journal of Solids and Structures* Vol. 43, pp. 5147-5157, 2006.
9. L. Afferrante, M. Ciavarella, J.R. Barber "Sliding thermoelastodynamic instability" *Proc. R. Soc. A*, Vol. 462, pp. 2161-2176, 2006.
10. L. Afferrante, M. Ciavarella, "A note on thermoelastodynamic instability (TEDI) for a 1D elastic layer: Force control" *International Journal of Solids and Structures* Vol. 44 (5), pp. 1380-1390, 2007.
11. L. Afferrante, M. Ciavarella, "Frictionless and frictional ThermoElastic Dynamic Instability (TEDI) of sliding contacts" *J. Mech. Phys. Solids* Vol. 54 (11), pp. 2330-2353, 2006.
12. L. Afferrante, M. Ciavarella, "ThermoElastic Dynamic Instability (TEDI) in frictional sliding of a halfspace against a rigid non-conducting wall" *Journal of Appl. Mech.*, Vol. 74 (5), pp. 875-884, 2007.

13. L. Afferrante, M. Ciavarella, "Thermo-Elastic Dynamic Instability (TEDI) in frictional sliding of two elastic halfspaces" *J. Mech. Phys. Solids* Vol. 55 (4), pp. 744-764, 2007.
14. L. Afferrante, M. Ciavarella, "Thermo-Elastic Dynamic Instability (TEDI) – a review a recent results" *Journal of Engineering Mathematics*, Vol.61 (2-4), pp. 285-300, 2008.
15. L. Afferrante, "Winkler partial slip solution for harmonic oscillations in steady rolling contact problems", *International Journals of Solids and Structures*, Vol. 45, pp. 5962-5971, 2008.
16. J.R. Barber, M. Ciavarella, L. Afferrante e A. Sackfield "Effect of small harmonic oscillations during the steady rolling of a cylinder on a plane", *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 50, pp. 1344-1353, 2008.
17. M. Ciavarella, L. Afferrante, "On corrugation models and the "roaring rails" enigma: a simple analytical contact mechanics model based on a perturbation of Carter's solution" *Journal of Mechanics of Materials and Structures*, Vol. 4 (2), pp. 191-209, 2009.
18. L. Afferrante, M. Ciavarella, "Short-pitch corrugation: a possible resonance-free regime as a step forward to explain the "enigma"?", *WEAR*, Vol. 266, pp. 934-944, 2009.

LR7. Simulazione dinamica ed ottimizzazione di trasmissioni CVT.

L'attività di ricerca condotta in questo campo ha riguardato il variatore continuo a pulegge espandibili (continuously variable transmission - CVT) sia quello di costruzione Van Doorne con cinghia a tasselli metallici o di tipo GCI a catena metallica. L'obiettivo della ricerca è stato duplice: in primo luogo quello di comprendere il comportamento meccanico del variatore in condizioni stazionarie e in transitorio, il secondo quello di determinare quali fossero le condizioni di lubrificazione tra pin e puleggia, condizioni che così tanto influenzano la trasmissione di coppia e potenza del variatore. La ricerca ha permesso condotto a due risultati di rilievo.

Il primo è stato lo sviluppo di un modello del variatore, a cui è stato assegnato il nome CMM dalle iniziali dei ricercatori che l'hanno sviluppato (Carbone, Mangialardi e Mantriota), che è stato sottoposto a una approfondita verifica sperimentale presso i laboratori del Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Gestionale del Politecnico di Bari e del Department of Mechanical Engineering della Eindhoven University of Technology. L'ottimo accordo tra le risultanze sperimentali e il modello CMM proposto ha rafforzato la collaborazione con il gruppo di ricerca sulle trasmissioni CVT di Eindhoven e ha portato all'adozione del modello CMM per la progettazione e messa a punto di un sistema di controllo ottimizzato del variatore CVT. Tale strategia di controllo infatti risulta essenziale per il raggiungimento di obiettivi quali la riduzione dei consumi e delle emissioni inquinanti dei veicoli e per il miglioramento del confort di marcia dei passeggeri.

Il secondo risultato di rilievo ha riguardato la modellazione delle condizioni di lubrificazione al contatto tra pin e puleggia nei CVT a catena, laddove le pressioni di contatto sono dell'ordine dei GPa. In particolare il film di lubrificante subisce un processo di squeeze che si instaura non appena il pin viene a contatto con la superficie delle pulegge. La presenza del film di lubrificante può modificare sensibilmente la distribuzione delle pressioni di contatto rendendole notevolmente differenti da quella Hertziana. Questo problema è stato affrontato nell'ambito di un progetto di ricerca in collaborazione con la Gear Chain Industrial (NL). In particolare è stato analizzato lo squeeze elastoidrodinamico del film di lubrificante interposto tra pin e puleggia. L'analisi ha permesso di determinare con precisione quale fosse la reale distribuzione di pressione nella zona di contatto e di valutare l'influenza della reologia del liquido sulle condizioni di lubrificazione. In particolare, è stato mostrato che il breve tempo di permanenza dei pin a contatto con la puleggia impedisce che possa instaurarsi contatto diretto tra le asperità delle superfici rugose, garantendo così che il regime di lubrificazione sia esclusivamente di tipo EHL. È stato, però, anche mostrato che la distribuzione di pressione presenta dei picchi molto accentuati che la rendono molto differente da una distribuzione di tipo Hertziana. Quest'ultima, invece, viene comunemente utilizzata nella fase di progettazione di tali trasmissioni, con risultati che, soprattutto dal punto di vista della vita a fatica, possono risultare modesti. In particolare i picchi di pressione si originano in una zona circolare lontano dall'asse del pin e si muovono rapidamente verso il centro determinando così l'insorgenza di cicli di fatica superficiale che vanno debitamente considerati nella fase di progettazione del pin.

Finanziamenti all'attività di ricerca.

Parte dell'attività di ricerca è stata finanziata anche dai progetti PRIN 2000, PRIN 2002, PRIN 2005 tutti coordinati dal Prof. L. Mangialardi, e da un contratto di ricerca triennale con la società Gear Chain Industria (NL) coordinato dal DdR. G. Carbone.

Principali pubblicazioni sull'argomento.

1. CARBONE G., DE NOVELLIS L., STEINBUCH M., COMMISSARIS G., "Enhanced CMM model for the prediction of steady state performace in CVT chain drives", *Journal of Mechanical Design* (2009) submitted

2. SCHEMBRI VOLPE S., CARBONE G., NAPOLITANO M., SEDONI E., "Design optimization of Input and Output Coupled power split Infinitely Variable Transmissions" ASME Journal of Mechanical Design, in press (2009).
3. CARBONE G., SCARAGGI M., SORIA L. "The lubrication regime at pin-pulley interface in chain CVT transmissions", ASME Journal of Mechanical Design, 131 (1), paper n. 011003, pp. 1-9, (2009)
4. CARBONE G., SCARAGGI M., MANGIALARDI L. "EHL-squeeze at pin-pulley interface in CVTs: Influence of lubricant rheology", Tribology International 42 (6), 862-865 (2009)
5. SIMONS S.W.H., KLAASSEN T.W.G.L., STEINBUCH M., VEENHUIZEN* P.A. and CARBONE G., "Shift dynamics modelling for optimization variator slip control in a push-belt CVT", International Journal of Vehicle Design 48 (1-2), 45 - 64 (2008)
6. CARBONE G., MANGIALARDI L.; BONSEN B.; TURSI C., VEENHUIZEN P.A., CVT Dynamics: Theory and Experiments, Mechanism and Machine Theory 42 (4), 409-428 (2007).
7. CARBONE G., MANGIALARDI L., MANTRIOTA G.: "The influence of pulley deformations on the shifting mechanism of MVB-CVT". ASME Journal of Mechanical Design, 127, 103-113 (2005).
8. CARBONE G., MANGIALARDI L., MANTRIOTA G., SORIA L.: "Performance of a City Bus equipped with a Toroidal Traction Drive". IASME Transactions, 1 (1), pp. 16-23, January 2004.
9. CARBONE G., MANGIALARDI L., MANTRIOTA G.: "EHL visco-plastic friction model in CVT shifting behaviour". Int. Journal of Vehicle Design, A special Issue on "Advancements in the field of vehicle transmission" 32 (3-4), pp. 332-357, 2003.
10. CARBONE G., MANGIALARDI L., MANTRIOTA G.: "Influence of Clearance Between Plates in Metal Pushing V-Belt Dynamics", ASME Journal of Mechanical Design, 124, 543 September 2002.
11. CARBONE G., MANGIALARDI L., MANTRIOTA G.: "Theoretical Model of Metal V-Belt Drives During Rapid Ratio Changing", ASME Journal of Mechanical Design, 123 (1) pp.111-117 March 2001.
12. CARBONE G., MANGIALARDI L., MANTRIOTA G.: "Fuel Consumption of a Mid Class Vehicle with Infinitely Variable Transmission", SAE Journal of Engines 110 (3), pp. 2474-2483, 2001.
13. CARBONE G., MANGIALARDI L., MANTRIOTA G.: "Shifting Dynamics of Metal Pushing V Belt – Rapid Speed Ratio Variations", Integrated Powertrains and their Control, Professional Engineering Publishing (IMEchE), ISBN 1860583342, Chapter 5, pp. 47-65, May 2001.

LR8. Tecniche di analisi e manipolazione di dati in ambiente virtuale.

Il gruppo ha portato avanti principalmente tre linee di ricerca. Una ricerca di base, una di implementazione Hardware e Software e una applicativa e sperimentale.

La prima ha interessato lo studio di base della tecnologia Augmented e Mixed Reality, indagando sulle più recenti soluzioni Hardware e Software e sui casi di applicazioni industriali sviluppati in letteratura. Per questa prima fase si è resa necessaria la mobilità di circa sei mesi di un ricercatore presso uno dei gruppi più attivi a livello internazionale: quello diretto dal Prof. Dieter Schmalstieg presso la TU Graz, Austria. La ricerca ha portato a evidenziare le potenzialità della tecnologia in campo ingegneristico, ma anche la mancanza di soluzioni HW e SW ottimali. Infatti, i visori AR (HMD) attualmente disponibili sono limitati in risoluzione e angolo di visuale, per cui lo sviluppo è stato prevalentemente incentrato su tecnologie basate su tablet computer dotati di telecamera integrata e/o a sistemi di proiezione (Spatial Augmented reality). Da un punto di vista software sono state analizzate e valutate le librerie esistenti in commercio e quelle messe a disposizione dai centri di ricerca in ambito internazionale. Poiché i sistemi esistenti non rispondevano in toto a i requisiti richiesti, si è reso necessario lo sviluppo di sistema specifico in collaborazione con le altre linee di ricerca.

La seconda linea di ricerca si è occupata quindi di sviluppare un ambiente di software AR flessibile, collaborativo e facilmente integrabile con i software ingegneristici attualmente in uso. Questo è stato possibile grazie ad una architettura modulare basata su plug-in. è stato sviluppato un sistema chiamato ADRON. In tal modo, eventuali nuove funzionalità (es. integrazione con un nuovo CAD o un solutore differente) non richiedono la modifica del sistema, ma semplicemente la creazione di un modulo aggiuntivo. È stato sviluppato un dimostratore per l'analisi strutturale interattiva e collaborativa, con visualizzazione in tempo reale dei risultati in ambiente Augmented e Mixed Reality. Il sistema è in grado di visualizzare dati FEM strutturale di un oggetto in fase di progettazione direttamente su di esso mediante sovrapposizione dei risultati con tecniche AR\MR. L'aspetto innovativo del sistema è la possibilità di fissare le condizioni al contorno della simulazione (carichi, spostamenti imposti etc.) in modo interattivo mediante interfacce tangibili. Per questo motivo sono stati applicati sul modello reale dei marker identificativi e per la localizzazione nello spazio mediante tracking ottico. L'oggetto di cui si sta eseguendo l'analisi FEM può essere deformato in maniera diretta dal progettista. Il calcolo FEM deve essere ottimizzato per possedere requisiti di interattività: nel caso esso abbia una velocità di aggiornamento inferiore ai 15 Hz, bisogna disaccoppiarlo

dal sistema di visualizzazione, in modo da mantenere costantemente una visualizzazione AR fluida. Al di là dei ragioni puramente computazionali nella risoluzione di un problema di meccanica strutturale, esistono problematiche molto più pratiche legate alla interazione tra i software in esame. Molti codici di calcolo commerciali come Ansys, ad esempio, non sono dotati di un sistema per accedere ai risultati del solutore da un linguaggio di programmazione esterno. Ansys attualmente usa un sistema di output basato sulle pipe e sui batch file. Questo tipo di struttura introduce un collo di bottiglia insormontabile che impedisce la risoluzione dei problemi FEM con frequenze "interattive". Il sistema è stato reso collaborativo mediante un modulo di rete (il Network plug-in) che permette la condivisione di annotazioni tecniche (Annotation plug-in). Un altro aspetto innovativo del sistema è l'approccio web-based. Infatti il sistema ADRON dispone di un motore di rendering ibrido 2D e 3D, dove il 2D è gestito sotto forma di pagine web semitrasparenti. Questo approccio, oltre che essere uno standard consolidato, ha permesso di usufruire di una larga serie di servizi offerti dalla piattaforma WWW2.0: chat tra esperti, forum, accesso alla documentazione tecnica via web, animazioni multimediali, etc.

Laterza fase della ricerca ha sperimentato in pratica le potenzialità del sistema AR e indagato sulle possibili modalità di interazione offerte dall'AR. Infatti sono stati oggetto di studio la materializzazione dei dispositivi interattivi (dette interfacce tangibili) e multimodali, ovvero la parallelizzazione dell'input. Partendo dai casi di studio, sono stati sviluppati diversi scenari di visualizzazione e valutati punti di forza e debolezza.

Progetti finanziati sulle tematiche CEMEC

PRIN 06: PUODARSI: Sviluppo prodotto orientato all'utente basato su Realtà aumentata e simulazione interattiva.

Linea di ricerca di visualizzazione dati in realtà aumentata all'interno del progetto di reti di laboratori pubblici di ricerca finanziati dalla regione Puglia: Laboratorio Integrato di Meccanica Sperimentale per l'Aerospaziale (EMILIA)

Progetto finanziato Fondazione CARIPUGLIA 2008: "RILIEVO DI GEOMETRIE 3D A COLORI CON METODI OTTICI"

Due linee di ricerca, "Metodi innovativi di visualizzazione dei risultati" e "Misurazione di precisione con tecniche ottiche", all'interno del PROGETTO STRATEGICO PS134 2006 "ricerca e sviluppo di metodologie per la meccanica sperimentale e la diagnostica strutturale"

Elenco delle pubblicazioni più significative.

1. M. FIORENTINO, G. MONNO, UVA A. (2009). Interactive "touch and see" FEM Simulation using Augmented Reality. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING EDUCATION, ISSN: 0949-149X
2. M. FIORENTINO, G. MONNO, UVA A. (2009). Tangible Digital Master for Product Lifecycle Management in Augmented Reality. INTERNATIONAL JOURNAL ON INTERACTIVE DESIGN AND MANUFACTURING, vol. 3; p. 121-129, ISSN: 1955-2513
3. M. FIORENTINO, UVA A., M. DELLISANTI FABIANO, G. MONNO (2009). Improving bi-manual 3D input in CAD modeling by part rotation optimization. COMPUTER AIDED DESIGN, ISSN: 0010-4485
4. UVA A., CRISTIANO S, FIORENTINO M, MONNO G (2009). Distributed design review using tangible augmented technical drawings. COMPUTER AIDED DESIGN, ISSN: 0010-4485
5. M. DELLISANTI, M. FIORENTINO, G. MONNO, UVA A. (2008). Enhanced 3D object snap for CAD modeling on large stereo displays. INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER APPLICATIONS IN TECHNOLOGY, vol. 33; p. 54-61, ISSN: 0952-8091
6. FIORENTINO M, G. MONNO, UVA A. (2006). CAD Interfaces in Virtual Reality: Issues and Solutions. BULLETIN OF THE TRANSYLVANIA UNIVERSITY OF BRAȘOV. SERIES A, MECHANICS, ELECTROTECHNICS AND ELECTRONICS, MATERIALS PROCESSING, WOOD INDUSTRY, SILVICULTURE, vol. 1, ISSN: 1223-9631
7. FIORENTINO M, G. MONNO, UVA A. (2008). VR Interaction for CAD Basic Tasks Using Rumble Feedback Input: Experimental Study. In: TALABA DORU, AMDITIS ANGELOS. Product Engineering, Tools and Methods Based on Virtual Reality. vol. 1, p. 337-351, Springer, ISBN/ISSN: 978-1-4020-8199-6
8. M. DELLISANTI, M. FIORENTINO, G. MONNO, UVA A. (2008). Flexible Architecture for Multimodal Augmented Reality Engineering Applications. In: Graphicon 08. Moscow, vol. 1, p. 57-60, ISBN/ISSN: 595560112-0
9. M. DELLISANTI, FIORENTINO M, G. MONNO, UVA A. (2007). Flexible Multimodal Architecture for CAD Application. In: Eurographics Italian Chapter Conference 2007, vol. 1, p. 113-118, ISBN/ISSN: 978-3905673-62-3
10. FIORENTINO M, MONNO G, UVA A. (2005). The SenStylus: A Novel Rumble-Feedback Pen Device for CAD Application in Virtual Reality. In: WSCG2005, The 13-th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision'2005, ISBN/ISSN: 80-903100-7-9

LR9. Simulazione di processi di lavorazione per deformazione plastica.

Le attività svolte dalla chiusura del progetto cofinanziato hanno riguardato principalmente progetti di ricerca, alcuni coordinati dal responsabile della stessa Linea, finanziati dal MIUR, MAP e dall'Industria Privata.

In particolare, nel biennio 2005-2006 il responsabile della linea ha coordinato un progetto internazionale, dal titolo "STUDIO E IMPLEMENTAZIONE DI TECNOLOGIE DI PRODUZIONE FINALIZZATE AL MIGLIORAMENTO DELLA FORMABILITÀ DI LEGHE DI MAGNESIO", finanziato nell'ambito della collaborazione Italia - Cina, dal Ministero delle Attività Produttive (MAP), dall'Istituto del Commercio Estero (ICE) e dalla Conferenza dei Rettori delle Università Italiane (CRUI).

Nel biennio 2006-2007 il gruppo di ricerca ha svolto attività di coordinamento nel progetto nazionale PRIN: "STUDIO E OTTIMIZZAZIONE DEL PROCESSO DI FORMATURA SUPERPLASTICA DI LAMIERE IN LEGHE DI MAGNESIO", finanziato dal MIUR.

Per quanto riguarda i progetti di ricerca commissionati da partner industriali e centri di ricerca, si evidenziano, tra i più recenti (2006 - 2009), i seguenti:

(i) "STUDIO DELLE CONDIZIONI OPERATIVE IDONEE PER LA SALDATURA LASER DI STRUCTURAL TRANSITION JOINTS OTTENUTI PER EXPLOSION CLADDING E CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI GIUNTI SALDATI" commissionato dal CALEF (Consorzio per la ricerca e lo sviluppo delle applicazioni industriali del Laser e del fascio elettronico)

(ii) "TRASFERIMENTO DI METODOLOGIE INNOVATIVE NELLA PROGETTAZIONE ROBUSTA E NELLA PRODUZIONE DI ELEMENTI PRESSOFUSI PER APPLICAZIONI DI DOMOTICA", commissionato dall'azienda MASTER di Conversano (BA)

(iii) "SVILUPPO DI MODELLI PER L'OTTIMIZZAZIONE DELLE CONDIZIONI OPERATIVE NEL TAGLIO LASER AD ALTA VELOCITÀ IN CONDIZIONI DI LAVORO CRITICHE" Commissionato dall'azienda PRIMA INDUSTRIE di Torino

(iv) "TECNOLOGIE DEI MATERIALI E DI PRODUZIONE CONVENZIONALI E INNOVATIVE, NELLA COSTRUZIONE DI APPARECCHIATURE ELETTROMECCANICHE IN GAS SF6 COSTITUITE DA INVOLUCRI IN ACCIAIO STAMPATI E SALDATI", commissionato dall'azienda TOZZI Sud di Foggia.

(v) "STUDIO DELLA SALDABILITÀ CON LASER ND:YAG DI LEGHE DI MAGNESIO E DI TITANIO". Periodo della ricerca: Febbraio 2008 - Febbraio 2009. Committente: Consorzio per la ricerca e lo sviluppo delle applicazioni industriali del Laser e del fascio elettronico (CALEF)

Attualmente il responsabile della linea 9 è anche coordinatore del progetto "STAMPAGGIO E GIUNZIONE DI METODI INNOVATIVI DI LEGHE DI MAGNESIO". (Gennaio 2009 - Dicembre 2009) commissionato dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Puglia. Questo progetto ha come obiettivo l'investigazione di tecniche di Idroformatura per la produzione di parti costituite interamente o parzialmente in lega di Mg.

In fase di attuazione è inoltre il progetto TRASFORMA (Tecniche di Ricerca Avanzate per lo Studio e l'implementazione della FORMatura con mezzi flessibili di leghe leggere tramite l'utilizzo di superfici ad attrito controllato e lamiera saldate di differente spessore) assegnatario del finanziamento di 2.2 milioni di Euro nell'ambito dell'Accordo di Programma Quadro "Ricerca Scientifica" – II Atto Integrativo: Avviso Pubblico "Reti di Laboratori Pubblici di Ricerca (Delibera CIPE 35/2005 relativa alle risorse FAS per il periodo 2005 - 2008).

Il progetto TRASFORMA si propone di investigare i processi di formatura flessibili (Idroformatura, HF, e Formatura Superplastica, SPF) al fine di poter applicare tali tecnologie per la produzione di componenti dalle elevate caratteristiche meccaniche, dal peso contenuto e dalla forma complessa. Inoltre, al fine di realizzare componenti non solo di forma complessa, ma anche con specifiche e locali caratteristiche di spessore o resistenza, si intende adoperare lamiera di spessore e/o materiale differente saldate prima della deformazione (tecnologia nota sotto il nome di Tailor Welded Blank, TWB): i tasselli di lamiera di spessori e/o materiale vengono disposti in posizioni opportune a creare una lamiera patchwork in grado di soddisfare, dopo formatura, specifiche esigenze di resistenza in alcune zone o particolari profili di spessore del componente. Verrà studiata anche la possibilità di ridurre le forze di attrito sulla superficie di contatto lamiera-stampo, anche localmente, attraverso un rivestimento degli stampi di formatura con film sottili di materiale duro, resistente all'usura e con basso coefficiente di attrito, in modo tale da guidare il flusso del materiale in deformazione.

Elenco delle 10 pubblicazioni più significative su rivista internazionale.

1. G. PALUMBO, D. SORGENTE, L. TRICARICO. (2009). Tangential bending and stretching of thin magnesium alloy sheets in warm conditions. MATERIALS & DESIGN, vol. 30; p. 653-660, ISSN: 0264-1275
2. R. SPINA, L. TRICARICO, D. SORGENTE, M. BRANDIZZI (2009). Effects of heat treatments on mechanical properties of Fe/Al explosion-welded structural transition joints. MATERIALS & DESIGN, vol. 30-7; p. 2693-2700, ISSN: 0264-1275

3. L.M. REN, S.H. ZHANG, G. PALUMBO, D. SORGENTE, L. TRICARICO. (2009). Numerical simulation on warm deep drawing of magnesium alloy AZ31 sheets. MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING A-STRUCTURAL MATERIALS PROPERTIES MICROSTRUCTURE AND PROCESSING, vol. 499, Issues 1-2; p. 40-44., ISSN: 0921-5093
4. G. PALUMBO, D. SORGENTE, L. TRICARICO. (2008). The design of a formability test in warm conditions for an AZ31 magnesium alloy avoiding friction and strain rate effects. INTERNATIONAL JOURNAL OF MACHINE TOOLS & MANUFACTURE, vol. 48, Issue 14; p. 1535-1545., ISSN: 0890-6955
5. G. PALUMBO, D. SORGENTE, L. TRICARICO. (2008). Numerical-experimental analysis of thin magnesium alloy stripes subjected to stretch-bending. JOURNAL OF MATERIALS PROCESSING TECHNOLOGY, vol. 201, Issues 1-3; p. 183-188., ISSN: 0924-0136
6. G. PALUMBO, D. SORGENTE, L. TRICARICO, S.H. ZHANG, W.T. ZHENG. (2007). Numerical and experimental investigations on the effect of the heating strategy and the punch speed on the warm deep drawing of magnesium alloy AZ31. JOURNAL OF MATERIALS PROCESSING TECHNOLOGY, vol. 191; p. 342-346, ISSN: 0924-0136
7. G. PALUMBO, L. TRICARICO. (2007). Numerical and Experimental investigations on the Warm Deep Drawing process of circular Aluminium alloy specimens. JOURNAL OF MATERIALS PROCESSING TECHNOLOGY, vol. 184; p. 115-123, ISSN: 0924-0136
8. G. PALUMBO, D. SORGENTE, L. TRICARICO, S.H. ZHANG, W.T. ZHENG, L.X. ZHOU, L.M. REN. (2007). Numerical-Experimental characterization of a superplastic AZ31 magnesium alloy. MATERIALS SCIENCE FORUM, vol. 551-552; p. 317-322, ISSN: 0255-5476
9. G. PALUMBO, S.H. ZHANG, L. TRICARICO, C. XU, L.X. ZHOU. (2006). Numerical/experimental investigations for enhancing the Sheet Hydro Forming process. INTERNATIONAL JOURNAL OF MACHINE TOOLS & MANUFACTURE, vol. 46; p. 1212-1221, ISSN: 0890-6955
10. G. PALUMBO, L. TRICARICO. (2005). Effect of forming and calibration operations on the final shape of large diameter welded tubes. JOURNAL OF MATERIALS PROCESSING TECHNOLOGY, vol. 164-165; p. 1089-1098, ISSN: 0924-0136

c) Rendicontazione analitica delle spese sostenute a fronte del contributo erogato, specificando: la tipologia di spesa (attrezzature, personale, costi specifici di progetto, materiali di consumo, contratti, etc.), una descrizione sintetica della spesa, gli estremi dei titoli di spesa (fattura e mandato) che liquidano la spesa, l'importo.

Per facilità di lettura, si riportano prima, nella tabella sotto riportata, le voci di spesa totali per categoria.

Tipologia di spesa	Importo speso nel triennio di cofinanziamento
Materiale inventariabile	€ 315.813
Computer (ore calcolo e software)	€ 43.415
Personale a contratto e assegni di ricerca	€ 201.624
Partecipazioni a convegni e missioni	€ 78.338
Altri costi	€ 11.359
Materiale di consumo	€ 890
Totale spese triennio	€ 651.439

Si riportano quindi tutte le spese ed i relativi titoli, anche a correzione ed integrazione della relazione finale presentata al MIUR al termine del progetto.

Materiale inventariabile.

Anno 2002. Schermo elettronico per realtà virtuale A.R.T. (€ 14.206,12, mandato n. 3472 dd.6/8/02, +€ 14.206,12, mandato n. 5694 dd.26/11/02). N. 2 Personal Computer MAC G4 (€ 12.675,96, mandato n. 3240 dd.29/7/02). N. 8 Workstation HP (€ 53.100,00, mandato n. 4614 dd.16/10/02). Cluster a 16 nodi IBM (€ 123.600,00, mandato n. 4615 dd.16/10/02). **Totale € 217.788,20**

Anno 2003. Proiettore ad alta definizione H & G (€ 41.088,55, mandato n. 3530 dd.4/8/03). IVA su fatture A.R.T. e H & G (€ 13.865,00 mandato n. 6174 dd.11/12/03). Climatizzatori (€ 5.364,00, mandato n. 4438 dd.22/9/03). **Totale € 60.317,55**

Anno 2004. Cavi ottici per il collegamento in rete dei computer (609,60 €, mandato n. 2997 del 14/05/04). Gruppo di continuità per garantire il cluster di workstation contro i blackout (6.180 €, mandato n. 6214 del 21/10/04). N. 2 switch per mini cluster (909,60 €, mandato n. 7406 del 29/10/04). N. 5

personal computer (7.074 €, mandato n. 7404 del 29/10/04). N. 4 personal computer (9835,20 €, mandato n.7403 del 29/10/04). N. 1 notebook Sony Vaio (€ 2.970,00, mandato n. n. 7405 del 29/10/04). N. 3 server per minicluster (9.530,40 €, mandato n.7407 del 29/10/04). Fotocamera digitale (598,00 €, mandato n.7401 del 29/10/04).

Totale € 37.706,80

Computer.

Anno 2002. Licenza ALTAIR (€ 3.060,00, mandato n. 2750 dd.26/6/02). Licenza ABAQUS (€ 6.906,00, mandato n. 2751 dd.26/6/02). Licenza TNO/Madymo (€ 2.016,91, mandato n. 3474 dd.6/8/02). Licenza WOLFRAM/Mathematica (€ 2.497,87, mandato n. 3473 dd.6/8/02). IVA su Licenze TNO e WOLFRAM (€ 896,00, mandato n. 6173 dd.11/12/03).

Totale € 15.376,78

Anno 2003. Licenza FLUENT (€ 2.289,10, mandato n. 4005 dd.4/9/03). Licenza ABAQUS (€ 7.440,00, mandato n. 4065 dd.9/9/03 + € 420,00, mandato n. 4439 dd.22/9/03). Licenza ALTAIR (€ 3.060,00, mandato n. 4066 dd.9/9/03). Licenza TNO/Madymo (€ 2.004,33, mandato n. 4906 dd.14/10/03). IVA su Licenza TNO (€ 400,00, mandato n. 5983 dd.1/12/03).

Totale € 15.613,43

Anno 2004 Licenza TNO/Madymo (€ 2.004,63, mandato n. 5857 dd.9/9/04), IVA su Licenza TNO (€ 400,00, mandato n. 6029 dd.17/9/04), Licenza ABAQUS (€ 6.960,00, mandato n. 4465 dd.8/7/04), Licenza ALTAIR (€ 3.060,00, mandato n. 4467 dd.8/7/04).

Totale € 12.424,63

Personale a contratto e assegni di ricerca

Anno 2002. Cofinanziamento di due assegni di ricerca dott. Stringano e Rubino (€ 38.734,27, mandato n. 5302 dd.13/11/02). Contratto Co.Co.Co dott. Macina (€ 4.000,00, mandato n. 3339 dd.31/7/02)/(€ 2.000,00, mandato n. 6198 dd.7/12/02). Contratto Co.Co.Co dott. Afferrante (€ 4.000,00, mandato n. 6390 dd.12/12/02 + € 2.000,00, mandato n. 1052 dd.25/3/03) Contratto prestazione occasionale dott. Ricchiuto (€ 160,00, mandato n. 3247 dd.29/7/02), Contratto prestazione occasionale dott. Mazzarella (€ 1.000,00, mandato n. 3246 dd.29/7/02).

Totale € 51.894,27

Anno 2003. Contratto Co.Co.Co dott. Leonardi (€ 4.000,00, mandato n. 2350 dd.26/5/03), Contratto Co.Co.Co dott. Mele (€ 3.000,00, mandato n. 2351 dd.26/5/03), Contratto Co.Co.Co dott. Oresta (€ 3.000,00, mandato n.6138 dd. 9/12/03), Contratto Co.Co.Co dott. De Tullio (€ 5.866,66, mandato n. 6721 dd.18/12/03 + € 2.933,34, mandato n. 393 dd.2/2/04), Co.Co.Co dott. Soria (€ 5.133,34, mandato n. 6726 dd.18/12/03 + € 2.566,66, mandato n. 397 dd.2/2/04), Co.Co.Co dott. Manodoro (€ 3.000,00, mandato n. 6724 dd.18/12/03), Contratto prestazione occasionale dott. Soranno (€ 2.000,00, mandato n.6745 dd.18/12/03).

Totale € 31.500,00

Anno 2004. Cofinanziamento + riassegnazione con adeguamento di due assegni di ricerca, dott. Mitaritonna e Cappiello (25822,84 € + 14151,53 + [5140,54 +9125,48] €). Riassegnazione con adeguamento assegno di ricerca dott. Schirone (15660,84 €). Adeguamento assegni di ricerca dott. Rubino e Stringano, assegnati nel primo anno di attività (5560,92 € + 5569 €). Adeguamento assegno di ricerca dott. Dini (€ 5140,54). Adeguamento assegno di ricerca dott. Di Bello (9852,70 €). Contratto Co. Co.Co dott. Maffione (€ 1.943,33, mandato n. 4974/04 // € 1.943,33, mandato n. 5503/04 // € 1.943,34, mandato n. 7915/04). Contratto Co.Co.Co dott. Puca (€ 1.250, mandato n. 4973/04 // € 1.250, mandato n. 5504/04 // € 1.875, mandato n. 7919/04). Contratto prestazione occasionale dott. Gissi (2000 €, mandato n. 4471 del 09/07/04). Contratto prestazione occasionale dott. Damiani (4.999,99 €, mandato n. 6628 del 12/10/04). Contratto prestazione occasionale dott. Cutrone (2000 €, mandato n. 7245 del 25/10/04). Contratto prestazione occasionale dott. d'Errico (1000 €, mandato n. 7244 del 25/10/04). Contratto prestazione occasionale dott. Fornarelli (2000 €, mandato n. 7243 del 25/10/04).

Totale € 118.229,38

Partecipazioni a convegni e missioni.

Anno 2002. Iscrizione congresso Prof. Verzicco (€ 697,26, mandato n. 3476 dd.6/8/02) Iscrizione congresso Dott.ssa Cinnella (€ 777,17, mandato n. 3477 dd.6/8/02), Iscrizione congresso Prof. Ciavarella (€ 859,83, mandato n. 3475 dd.6/8/02) Iscrizione congresso ATA 6 docenti (€ 1.200,00, mandato n. 4228 dd. 24/9/02) Iscrizione congresso ATI 3 docenti (€ 930,00, mandato n. 4163 dd. 18/9/02) Iscrizione congresso Prof. Tricarico (€ 785,00, mandato n. 5695 dd.26/11/02) Iscrizione congresso Dott.ssa Pinto (€

513,91, mandato n. 7058 dd.27/12/02) Missioni Prof. Verzicco (Indianapolis 19/3/02 € 3.016,09, mandato n. 5806 dd.30/11/02// Vienna 9/7/02 € 712,15, mandato n. 5672 dd.22/11/02) Missioni Prof. Ciavarella: (Orbassano 11/2/02 € 258,58, mandato n. 1802 dd. 15/5/02; Southampton 19/1/02 € 2.250,41, mandato n. 4179 dd. 19/9/02, Stoccolma 1/6/02 € 2.225,61, mandato n. 7010 dd. 18/12/02) Missioni Dott. Palumbo (Cracovia € 818,09, mandato n. 4324 dd. 18/9/03 + biglietto aereo € 451,17, mandato n. 3239 dd. 29/7/02// Yokohama 26/10/02 € 239,57, mandato n. 3900 dd. 14/8/03 + biglietto aereo € 1.096,10, mandato n. 6452 dd. 12/12/02); Missioni Dott.ssa Cinnella (Amsterdam 1/6/02 € 1.553,67, mandato n. 7011 dd. 18/12/02) Missioni Dott.ssa Pinto (Vienna 23/10/02 € 550,17, mandato n. 3374 dd. 25/7/03 + biglietto aereo € 395,84, mandato n. 6451 dd. 12/12/02).

Totale € 19.330,62

Anno 2003. Iscrizione congresso Dott. Palumbo (€ 324,14, mandato n. 4932 dd. 14/10/03) Iscrizione congresso Dott. Palumbo (€ 324,16, mandato n. 6025 dd. 2/12/03) Missioni Prof. De Palma (Pisa 18/9/02 € 567,31, mandato n. 2781 dd. 3/7/03); Missioni Prof. Ciavarella: (Bergamo 2/10/02 € 278,11, mandato n. 5430 dd. 4/8/04 + biglietto aereo € 285,64, mandato n. 3399 dd. 29/7/03//Padova 2/12/02 € 148,50, mandato n. 5534 dd. 4/8/04 + biglietto aereo € 300,41, mandato n. 3399 dd. 29/7/03// Oxford 25/7/02 € 2.389,03, mandato n. 4092 dd. 10/9/03// Oxford 8/9/03 € 1.800,13 mandato n. 5132 dd. 30/7/04// Sheffield 14/7/03 € 2.379,55, mandato n. 5136 dd. 30/7/04// Parigi 21/6/03 € 2.064,51, mandato n. 5140 dd. 30/7/04//) Missioni Prof. Decuzzi (Columbus 24/2/03 € 3.547,71, mandato n. 774 dd. 19/2/04 + biglietto aereo € 984,98, mandato n. 802 dd. 20/2/04//Newark 24/8/03 € 1.389,47, mandato n. 5563 dd. 7/11/03); Missioni sig. Papagna (Siena 16/2/03 € 388,57, mandato n. 6907 dd. 22/12/03 + biglietto FFSS € 138,08, mandato n. 3400 dd. 29/7/03).

Totale € 17.310,30

Anno 2004. Iscrizione congresso dott. Carbone (290,86 €, mandato n. 5002 del 23/07/04). Iscrizione congresso prof. Pascazio (441,35 €, mandato n. 5003 del 23/07/04). Iscrizione congresso prof. Napolitano (400 €, mandato n. 4989 del 20/07/04. Missioni prof. Napolitano: (Milano 958,68 €, mandato n. 7205 del 21/10/04; Milano, 1261,03 €, mandato n. 7204 del 21/10/04; Campobasso, 282,66 €, mandato n. 7200 del 21/10/04; 342,72 €, mandato n. 7203 del 21/10/04; Genova, 1023,15 €, mandato n. 7201 del 21/10/04; Campobasso, 177,55 €, mandato n. 7201 del 21/10/04; 454,51 €, mandato n. 7207 del 21/10/04). Missioni prof. Ciavarella (Londra-Cambridge 20/4/04 € 1.952,10, mandato n. 5418 dd. 4/8/04// Oxford-Leicester € 2.312,19, mandato n. 5421 dd. 4/8/04//Londra, 1117,92 € + 272,04 € [biglietto aereo], mandati n. 7287 del 26/10/04 e 6430 del 29/09/04; Long beach e La Jolla, 2247,57 € + 1068,28 [biglietto aereo] + 478,51 [iscrizione congresso], mandati n. 7828 del 07/11/04, 7827 del 03/11/04 e 7242 del 25/10/04). Missione prof. Catalano (Atene, 1140,66 € + 254,63 € [iscrizione congresso], mandati n. 5423 del 04/08/04 e 7413 del 29/10/04). Iscrizione corso UNISI sig. Papagna (€ 280,00, mandato n.5022 dd. 23/7/04), Missione ing. Caramia, co-responsabile dei servizi di calcolo del Centro (Bologna per corso su calcolatori paralleli, 527,04 € + 500 € [iscrizione corso], mandati n. 5533 del 04/08/04 e 4463 del 08/07/04). Missione dott. Cappiello (€ 77,82 [iscrizione convegno ASME come dottorando], mandato 5121 del 29/07/04). Missioni dott. Palumbo (Columbus € 4.090,71, mandato n. 7286 dd. 26/10/04 + 454,17 € [iscrizione congresso], mandati n. 7286 del 26/10/04 e 3630 del 03/06/04) (Stoccarda € 2.303,11, mandato n. 7248 dd. 25/10/04). Missione dott. Decuzzi (Udine, 378,81 € + 450 € [iscrizione convegno], mandati n. 5532 del 04/08/04 e n. 4462 del 08/07/04). Missioni prof. Pascazio e De Palma (Helsinki, 1555,29 € + 1605,44 € + 963,39 € [due biglietti aerei], mandati n. 7254 e 7255 del 26/10/04 e 7241 del 25/10/04). Missioni De Palma (Toronto, 1984,94 € + 1054,67 € [biglietto aereo], mandati n. 7257 del 26/10/04 e 7241 del 25/10/04; Genova, 551,08 €, mandato n. 7202 del 21/10/04). Missione dott. Fiorentino (Mosca € 1.911,32, mandato n. 7269 del 26/10/04). Missione dott. Uva (Davis/USA € 4.000, mandato n. 4780 dd. 15/7/04 + € 443,35, mandato n. 4782 dd. 15/7/04//Mosca, € 2.089,77, mandato n. 7269 del 26/10/04).

Totale € 41.697,32

Altri costi.

Anno 2002. Pitturazione locali (€ 3.066,00, mandato n. 3484 dd.6/8/02).

Totale € 3.066,00

Anno 2003. Riparazione Condizionatori (€ 300,00, mandato n. 4006 dd.4/9/03), Lavori elettrici di ampliamento (€ 2.035,00, mandato n. 4432 dd.22/9/03), Compenso sig. Papagna per attività amministrativa del Centro (€ 1.507,15, mandato n.4999 dd.16/10/03), Lavori elettrici di manutenzione (€ 456,00, mandato n. 4642 dd.1/10/03).

Totale € 4.298,15

Anno 2004. Potenziamento rete LAN (1200 €, trasferiti DIMeG) Montaggio gruppo di continuità, con adeguamento rete elettrica (504 €, mandato n. 6213 del 21/09/04); pagamento albergo visiting scientist della UC Davis, dott. Kreylos (784 €, mandato n. 6741 del 14/10/04). Compenso sig. Papagna per attività amministrativa del Centro (€1.507,15, mandato n. 3144 dd. 18/5/04). **Totale € 3.995,15**

Materiale di consumo.

Anno 2002. Toner stampante (€ 141,60, mandato n. 4354 dd.3/10/02), Spese postali (€ 39,66, mandato n. 5410 dd.14/11/02). **Totale € 181,26**

Anno 2003. Timbri (€ 42,00, mandato n. 3404 dd.29/7/03), Toner stampante (€ 103,20, mandato n. 4007 dd.4/9/03), Toner stampante (€ 201,60, mandato n. 4440 dd.22/9/03). **Totale € 346,80**

Anno 2004. Toner stampante (€ 189,60, mandato n. 2994 dd.14/5/04), Toner stampante (€ 172,80, mandato n. 4464 dd.8/7/04). **Totale € 362,40**

d) Rendicontazione analitica delle spese sostenute ad oggi per il potenziamento/ampliamento dell'intervento cofinanziato seguendo le modalità indicate al precedente punto c);

Come suggerito dalla dott. Gaudio del MIUR, si omette la rendicontazione di tutte le spese relative al contratto CIRA ACADEMIA, gestito direttamente dal CEMeC ed a tutti gli altri finanziamenti utilizzati in ambito CEMeC, in quanto non utili ai fini del presente PON.

Spese generali (sui fondi del CEMeC relativi ad un supplemento di finanziamento del Politecnico) relative a tutte le LR.

Tipologia di spesa	Importo
Materiale inventariabile	€ 54.449
Computer (ore calcolo e software)	€ 8.444
Personale a contratto e assegni di ricerca	€ 64.428
Partecipazioni a convegni e missioni	€ 9.492
Altri costi	€ 19.935
Totale	€ 156.748

Dettagli di tutte le spese ed relativi titoli.

Materiale inventariabile.

Cofinanziamento acquisto cluster (€ 52.678,00, mandato n. 4941 del 19/07/04; fattura Infotel n. 512 del 30/12/2003, pagata con mandato n. 198 del 2004, di importo pari a € 58.806,00); Apparecchiatura informatica (€ 1.771,20, mandato n. 3349 dd. 30/5/05). **Totale € 54.449,20**

Computer.

Licenza FLUENT (€ 2.383,88, mandato n. 3317 dd. 27/5/05). Ore Calcolo UNIX (€ 600,00, mandato n. 3348 dd. 30/5/05). Licenza ALTAIR (€ 3.060,00, mandato n. 7455 dd. 3/11/05). Licenza TNO/Madymo (€ 2.000,00, mandato n. 8413 dd.5/12/05). IVA su Licenza TNO (€ 400,00, mandato n. 5334 dd.18/7/06). **Totale € 8.443,80**

Personale a contratto e assegni di ricerca

Cofinanziamento assegno di ricerca (€ 18.074,56, mandato n. 9000 dd.11/12/06). Cofinanziamento assegno di ricerca (€ 18.665,21, mandato n. dd.). Contratto prestazione occasionale dott. De Tullio (€ 4.608,29, mandato n. 3194 del 14/4/09 + oneri Irap € 391,70, mandato n. 3195 del 14/4/09). Assegno di ricerca annuale (€ 22688, impegnato) **Totale € 64.427,76**

Partecipazioni a convegni e missioni.

Iscrizione congresso Prof. Catalano (€ 540,00, mandato n.5244 dd. 1/8/05), Missioni Prof. Ciavarella (Ann Arbor 18/7/05, € 3.613,10, mandato n. 8177 dd. 23/11/05 + biglietto aereo € 1.182,01, mandato n. 7340 dd. 2/11/05) Missioni Dott. Uva (Praga 29/1/05 € 1.363,19, mandato n. 6348 dd. 23/9/05) Missioni Dott. Cappiello (Vienna 13/6/04 € 1.542,89, mandato n.4906 dd. 19/7/05 + € 233,10, mandato n.4907 dd. 19/7/05), Missioni Prof. Napolitano (Campobasso 20/7/05 € 161,11, mandato n. 8474 dd. 4/12/06) Pagamento albergo visiting scientist, dott. McKinlay (€ 252,00, mandato n. 8366 del 2/12/05). Missione

Prof. Napolitano (Venezia 5/9/07 € 434,73, mandato n. 581 dd. 25/1/08). Missione Prof. Napolitano (Capua 29/1/09 € 169,60, mandato n. 4178 dd. 29/5/09) **Totale € 9.491,73**

Altri costi.

Compenso prof. Pascazio per attività coordinamento come professore di prima fascia a tempo parziale (€ 5.000,00, mandato n. 4868 dd. 19/7/05); Compenso sig. Papagna per attività amministrativa del Centro (€ 3.000,00, mandato n. 4883 dd. 19/7/05). Trasferimento fondi DIMeG (integrazione borsa di dottorato), prot. 2005PM001528 dd. 26/7/05 (€ 2.018,06, mandato n. 6923 dd. 13/10/05). Compenso prof. Pascazio per attività coordinamento come professore di prima fascia a tempo parziale e sig. Papagna per attività amministrativa del Centro (€ 9.073,40, mandato n. 8416 dd. 30/11/06). Spese telefoniche anni 2007 e 2008 (6 mandati per totale di € 675,90). Spese telefoniche I quadr. 2009 (€ 99,13, mandato n. 6246 dd. 26/8/09); Spese telefoniche II quadr. 2009 (€ 68,38, mandato n. 6247 dd. 26/8/09). **Totale € 19.934,87**

e) Proposta di riutilizzo del contributo comunitario (FESR) e nazionale (FdR).

1) incrementare la dotazione di risorse materiali e immateriali

Le attrezzature acquisite nel triennio 2001-2004 sono a rapida obsolescenza. Si prevede di acquisire nuovi computer e strumentazione per la realtà virtuale. In particolare:

1 Cluster con un numero di nodi di calcolo non superiore a 36, così costituito:

1 Nodo master per la gestione del cluster (4 k€)

1 Switch "Infiniband" a 36 porte per la comunicazione tra i nodi (7 k€)

1 Switch kvm I/O per masternode e nodi (1,5 k€)

1 Switch Gigabit ethernet per la rete di gestione a 48 porte (300 €)

1 Armadio per l'alloggiamento del cluster e apparati elettrici: (800 €)

N Nodi di calcolo completi di scheda Infiniband e cavi di connessione (costo unitario 3,8 k€)

Il numero N di nodi (non superiore a 35) dipenderà dal finanziamento disponibile.

Il costo massimo totale è 146,6 k€ + IVA

M workstation del costo unitario di 1,6 k€ così costituite:

CPU: Intel Core i7

RAM: 8 Gigabyte

HD: 500 GB

Scheda video: 512 Mb DDR4

Monitor: 19" LCD

Il numero di M, non superiore a 15, dipenderà dal finanziamento disponibile.

Il costo massimo totale è 15x1,6 k€ = 24 k€ + IVA

1 Visore Vusix iWear VR920 + cam AR per la visualizzazione in Augmented Reality. Costo 1k€

1 Video proiettore DLP attivo F10 AS3D projectiondesign + occhialini attivi per visualizzazione stereoscopica. Costo 15k€

1-2 workstation grafiche HPxw. Costo 4-8k€

2) avviare/potenziare collaborazioni scientifiche nazionali e internazionali.....

Questo CEMeC ha incentivato la ricerca da parte di giovani e brillanti dottori di ricerca finanziando o co-finanziando assegni di ricerca o finanziando contratti CoCoCo o per prestazioni occasionali mirate; ha inoltre incentivato la mobilità internazionale sia dei suddetti giovani che del personale strutturato. Per il futuro si intende finanziare un assegno di ricerca (AR) annuale per cinque linee di ricerca, secondo priorità che verranno decise dal Comitato scientifico. Il costo di un anno di AR, comprensivo di costi accessori è di € 22688 (costo massimo ammesso dal MIUR). Si prevede di spendere inoltre 10000 € per la mobilità internazionale e per partecipazione a congressi.

N Assegni annuali del costo unitario di 22,7 k€

M contratti di prestazione occasionale del costo unitario di 5 k€

Mobilità per un costo massimo di 30 k€

Il costo massimo totale (N=M=6) è 196,2 k€

3) rafforzare la propria struttura organizzativa e manageriale.....

Questo CEMeC è ospitato presso il Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Gestionale e non dispone di personale docente né tecnico-amministrativo autonomo. Per consentire un miglior funzionamento delle attrezzature e del software del CEMeC, nonché una amministrazione più continua e capace di stimolare l'acquisizione di finanziamenti di ricerca, si prevede di finanziare lo straordinario di un amministrativo e di due tecnici informatici. **Costo totale 9 k€.**

Bari, 25 settembre 2009.

Il responsabile scientifico del CEMeC

Prof. Michele Napolitano, Ph.D.

