

ALLEGATO INCARICO DI RICERCA ART. 22 TER L. 240/2010 Dipartimento di Ingegneria e Scienze Applicate <i>DISCLAIMER: The English version is a translation of the original in Italian for information purposes only.</i> <i>In case of discrepancy, the Italian original will prevail</i>	
Responsabile scientifico Alessandro Colombo	Scientific Tutor Alessandro Colombo
N° posti richiesti 1	No. Of place 1
Gruppo Scientifico Disciplinare 09/IIND-01 - Ingegneria Aerospaziale e Navale	Scientific Disciplinary Group 09/IIND-01 - Aerospace Engineering And Naval Architecture
Settore Scientifico Disciplinare IIND-01/F - Fluidodinamica	Scientific Disciplinary Sector IIND-01/F - Fluid Dynamics
Sede dell'attività Dipartimento di Ingegneria e Scienze Applicate Via A. Einstein, 2 24044 - Dalmine (BG)	Place of service Dipartimento di Ingegneria e Scienze Applicate Via A. Einstein, 2 24044 - Dalmine (BG) - Italy
Durata dell'incarico 24 mesi	Duration of position 24 mesi
Importo annuo lordo € 24.300,00	Annual Gross Amount € 24.300,00
Titolo dell'incarico Sviluppo di un solutore CFD adattivo ad alta accuratezza per la simulazione efficiente di flussi turbolenti	Title Development of a high-order adaptive CFD solver for the efficient simulation of turbulent flows
Descrizione del progetto e attività da svolgere Il progetto di ricerca "Sviluppo di un solutore CFD adattivo ad alta accuratezza per la simulazione efficiente di flussi turbolenti" è finalizzato alla progettazione, implementazione e validazione di tecniche adattive per un solutore di fluidodinamica computazionale, CFD, ad alto ordine di accuratezza basato sul metodo agli elementi finiti discontinui di Galerkin (dG). L'obiettivo principale del progetto è rendere efficiente la simulazione scale-	Description of the activities The research project "Development of a high-order adaptive CFD solver for the efficient simulation of turbulent flows" is aimed at the design, implementation and validation of adaptive techniques for a high-order Computational Fluid Dynamics, CFD, solver based on the discontinuous Galerkin finite element method, dG. The main objective of the project is to make the scale-resolving simulation of compressible turbulent flows more efficient, with particular

resolving di flussi turbolenti comprimibili, con particolare riferimento ad approcci quali l'implicit Large Eddy Simulation (ILES). Al tempo stesso, le tecniche sviluppate dovranno essere sufficientemente generali, modulari ed estendibili eventualmente a simulazioni stazionarie di tipo RANS, equazioni di Navier-Stokes mediate alla Reynolds, senza introdurre vincoli rispetto allo specifico modello di chiusura adottato. Le attività che verranno svolte riguarderanno, in una fase preliminare, l'analisi critica e comparativa di differenti strategie di adattività della discretizzazione spaziale. L'attenzione sarà principalmente rivolta a tecniche di adattività di griglia (h-adaptation), basate sulla modifica locale della discretizzazione spaziale mediante raffinamento e coarsening, sia tramite suddivisione gerarchica delle celle sia attraverso l'agglomerazione degli elementi. In fase preliminare sarà inoltre investigata la possibilità di introdurre forme di adattività locale del grado polinomiale (p-adaptation), valutandone la compatibilità con l'architettura del codice e l'eventuale integrazione in strategie ibride (hp-adaptation). La fase iniziale non consisterà quindi nell'adozione immediata di una tecnica predefinita, ma nel confronto tra diverse opzioni, al fine di selezionare la strategia più adatta in termini di accuratezza, stabilità, costo computazionale e scalabilità. Una parte rilevante dell'attività sarà dedicata alla definizione di un quadro algoritmico adattivo scalabile, orientato prioritariamente a simulazioni ad alta fedeltà di flussi instazionari, nelle quali il costo computazionale e l'occupazione di memoria rappresentano limiti sostanziali all'applicazione in ambito industriale. Le	reference to approaches such as implicit Large Eddy Simulation, ILES. At the same time, the techniques developed should be sufficiently general, modular and extendable, where appropriate, also to steady Reynolds-Averaged Navier-Stokes, RANS, simulations, without imposing constraints on the specific closure model adopted. The activities to be carried out will concern, in a preliminary phase, the critical and comparative analysis of different strategies for spatial-discretization adaptivity. Attention will mainly be devoted to mesh-adaptivity techniques, h-adaptation, based on the local modification of the spatial discretization through refinement and coarsening, both by hierarchical subdivision of cells and by element agglomeration. In the preliminary phase, the possibility of introducing local adaptivity of the polynomial degree, p-adaptation, will also be investigated, assessing its compatibility with the code architecture and its possible integration into hybrid hp-adaptation strategies. The initial phase will therefore not consist in the immediate adoption of a predefined technique, but rather in the comparison of different options, in order to select the most suitable strategy in terms of accuracy, stability, computational cost and scalability. A significant part of the activity will be devoted to the definition of a scalable adaptive algorithmic framework, primarily oriented towards high-fidelity simulations of unsteady flows, for which computational cost and memory usage represent substantial limitations to industrial application. The adaptive strategies should allow for a dynamic and non-uniform distribution of the degrees of freedom, guided by suitable local error
---	---

strategie adattive dovranno consentire una distribuzione dinamica e non uniforme dei gradi di libertà, guidata da opportuni indicatori locali di errore, al fine di incrementare la risoluzione spaziale nelle regioni in cui la soluzione presenta contenuto dinamico rilevante o scale non adeguatamente risolte. Particolare attenzione sarà dedicata alla compatibilità con schemi di integrazione temporale espliciti, spesso impiegati nelle simulazioni instazionarie scale-resolving, ma soggetti a vincoli severi sul passo temporale attraverso la condizione di CFL, Courant–Friedrichs–Lewy. La strategia adattiva dovrà quindi essere valutata non solo in termini di riduzione del numero di gradi di libertà, ma anche rispetto al suo impatto sul passo temporale, sul bilanciamento del carico e sull'efficienza complessiva della simulazione. Al tempo stesso, il quadro algoritmico dovrà mantenere aperta la compatibilità con strategie di integrazione nel tempo implicite o semi-implicite, utili ad esempio per applicazioni RANS stazionarie. Un aspetto centrale del progetto sarà l'implementazione software. Le tecniche adattive dovranno essere integrate in un solutore dG esistente sviluppato dal gruppo di ricerca in fluidodinamica dell'Università degli studi di Bergamo. L'implementazione dovrà essere studiata con l'obiettivo di garantire un sovraccarico computazionale nullo o trascurabile quando l'adattività non è attiva. Questo requisito è essenziale affinché il codice mantenga le proprie prestazioni nelle simulazioni a griglia e grado polinomiale fisso. Saranno quindi investigate diverse strutture dati, procedure di aggiornamento della mesh, strategie di gestione della connettività e delle interfacce tra elementi di diversa	indicators, in order to increase the spatial resolution in regions where the solution exhibits relevant dynamic content or inadequately resolved scales. Particular attention will be paid to compatibility with explicit time-integration schemes, which are often used in unsteady scale-resolving simulations but are subject to severe time-step restrictions through the Courant–Friedrichs–Lewy, CFL, condition. The adaptive strategy will therefore have to be assessed not only in terms of reducing the number of degrees of freedom, but also with respect to its impact on the time step, load balancing and the overall efficiency of the simulation. At the same time, the algorithmic framework should preserve compatibility with implicit or semi-implicit time-integration strategies, which are useful, for example, for steady RANS applications. A central aspect of the project will be the software implementation. The adaptive techniques will have to be integrated into an existing dG solver developed by the fluid dynamics research group of the University of Bergamo. The implementation should be designed with the aim of ensuring zero or negligible computational overhead when adaptivity is not active. This requirement is essential for the code to maintain its performance in simulations with fixed mesh and polynomial degree. Different data structures, mesh-update procedures, strategies for managing connectivity and interfaces between elements of different resolution, load balancing and memory allocation will therefore be investigated. The development should also be consistent with the prospect of porting the code to GPU architectures, while
---	---

risoluzione, bilanciamento del carico e allocazione della memoria. Lo sviluppo dovrà inoltre essere coerente con la prospettiva di porting su architetture GPU, preservando località dei dati, parallelismo e scalabilità. Le attività di ricerca includeranno anche lo studio di criteri per guidare l'adattività. Saranno analizzati indicatori tradizionali basati, ad esempio, su residui, gradienti, contenuto spettrale, sensori di discontinuità e stime dell'errore locale. In parallelo, sarà investigato l'uso di tecniche di apprendimento automatico, e in particolare di reti neurali, per identificare le regioni che richiedono maggiore/minore risoluzione spaziale e/o un trattamento numerico dedicato. Tali metodi saranno confrontati con sensori classici, valutandone robustezza, costo computazionale e capacità di generalizzazione. La fase conclusiva sarà dedicata alla validazione numerica su casi test di complessità crescente, con particolare attenzione a simulazioni scale-resolving di flussi comprimibili, eventualmente anche transonici. Potranno inoltre essere considerati test preliminari su problemi multifase e/o multicomponente, con l'obiettivo di verificare la generalità del quadro algoritmico proposto e valutarne la possibile estensione a modelli fisici più complessi, che mostrano la presenza di interfacce, discontinuità materiali e forti variazioni locali delle proprietà del fluido. Per lo svolgimento dell'attività sono richieste competenze nell'ambito della fluidodinamica computazionale, dei metodi numerici ad alto ordine di accuratezza per flussi comprimibili, con particolare riferimento ai metodi discontinuous Galerkin di tipo modale, della programmazione scientifica	preserving data locality, parallelism and scalability. The research activities will also include the study of criteria for driving adaptivity. Traditional indicators based, for example, on residuals, gradients, spectral content, discontinuity sensors and local error estimates will be analysed. In parallel, the use of machine-learning techniques, and in particular neural networks, will be investigated to identify the regions requiring higher or lower spatial resolution and/or a dedicated numerical treatment. These methods will be compared with classical sensors, assessing their robustness, computational cost and generalization capability. The final phase will be devoted to numerical validation on test cases of increasing complexity, with particular attention to scale-resolving simulations of compressible flows, possibly also in the transonic regime. Preliminary tests on multiphase and/or multicomponent problems may also be considered, with the aim of verifying the generality of the proposed algorithmic framework and assessing its possible extension to more complex physical models, characterized by the presence of interfaces, material discontinuities and strong local variations in fluid properties. The activity requires expertise in Computational Fluid Dynamics, high-order numerical methods for compressible flows, with particular reference to modal discontinuous Galerkin methods, parallel scientific programming and high-performance computing. Expertise in the management of discretizations on non-uniform grids, including hanging nodes, and in computational parallelization techniques will be positively evaluated.
--	--

parallela e del calcolo ad alte prestazioni. Sono valutate positivamente competenze nella gestione di discretizzazioni su griglie non uniformi, anche in presenza di nodi pendenti, e nelle tecniche di parallelizzazione del calcolo. Le attività saranno svolte anche nel quadro delle linee di ricerca promosse dal progetto Horizon Europe, ROSAS "RObust simulation Systems exploiting AI based turbulence models and hight-fidelity algorithmS" (Grant agreement ID: 101138319) che vede coinvolto il gruppo di fluidodinamica dell'Università degli studi di Bergamo, contribuendo al raggiungimento dei relativi obiettivi scientifici.	The activities will also be carried out within the framework of the research lines promoted by the ROSAS "RObust simulation Systems exploiting AI based turbulence models and hight-fidelity algorithmS" (Grant agreement ID: 101138319) project, in which the fluid dynamics group of the University of Bergamo is involved, contributing to the achievement of its scientific objectives.
Lingua straniera la cui adeguata conoscenza sarà oggetto di accertamento mediante prova orale Inglese	Foreign language, adequate knowledge of which will be assessed by means of an oral test English
Accertamento della conoscenza della lingua italiana per candidati stranieri No	Assessed of the knowledge of Italian language for foreign candidates No
Numero pubblicazioni: 1	Number of publications: 1
Copertura Finanziaria COLO_A_23_RI_HE_C_ROSAS_01 - CUP F53C24001920005 e DISAMARGCOM	Financial coverage COLO_A_23_RI_HE_C_ROSAS_01 - CUP F53C24001920005 and DISAMARGCOM