

Programma attività di ricerca “Dynamic Zoom Simulations per la produzione di mock catalogs in cosmologie non-standard”

Il metodo Dynamic Zoom Simulations (DZS) è un approccio numerico alle simulazioni cosmologiche N-body che consente di ridurre significativamente il costo computazionale di simulazioni di grande scala progettate per modellare osservazioni dell'intero cielo (full-sky) previste dalle survey di galassie di Stage IV. Il metodo si basa su una riduzione dinamica della risoluzione numerica nelle regioni del dominio di simulazione che si trovano al di fuori del cono di luce passato (past lightcone) della posizione dell'osservatore, mantenendo al contempo la piena risoluzione all'interno della porzione osservabile del dominio. Tale metodo, inizialmente implementato nel codice N-body Gadget3 e validato su simulazioni cosmologiche del modello standard Λ CDM (Garaldi et al. 2020), è stato recentemente portato nei più avanzati codici di simulazione Arepo e Gadget4, ed è stato inoltre testato su simulazioni cosmologiche che vanno oltre il modello standard Λ CDM (Zangarelli et al. 2026).

L'obiettivo principale del presente progetto di ricerca è il benchmarking di questi due codici di simulazione per esecuzioni di produzione su larga scala in ambienti di supercalcolo parallelo, nonché la preparazione di una proposta dedicata per l'assegnazione di risorse computazionali sulla macchina Leonardo di CINECA (o su altri cluster HPC equivalenti in Europa). A tal fine, il beneficiario del presente finanziamento di ricerca sarà chiamato a: (i) portare l'attuale implementazione del metodo DZS dai codici di riferimento Arepo e Gadget4 alle versioni di sviluppo degli stessi codici che includono una più ampia gamma di modelli cosmologici, in particolare il framework PANDA, attualmente in fase di sviluppo presso il gruppo di cosmologia numerica dell'Università di Bologna; (ii) testare il metodo su diverse configurazioni delle condizioni iniziali e valutarne le prestazioni e le proprietà di scalabilità; (iii) progettare una suite di simulazioni cosmologiche di grande volume per un campione selezionato di modelli cosmologici non standard e collaborare alla preparazione di una proposta EuroHPC per l'assegnazione delle risorse computazionali necessarie.

Il conseguimento di tali obiettivi richiede una conoscenza approfondita dei codici N-body impiegati nel progetto (Arepo e Gadget4) e del metodo DZS, una solida esperienza nelle infrastrutture HPC e nei relativi principi di funzionamento, nonché un'elevata padronanza della programmazione nei linguaggi C e C++ e dello standard di parallelizzazione MPI.

Research topic and activities “Dynamic Zoom Simulations for the production of mock catalogues in non-standard cosmologies”

The Dynamic Zoom Simulations method is a numerical approach to cosmological N-body simulations that allows to significantly reduce the computational cost of large simulations designed to model full-sky observations of Stage IV galaxy surveys. The method is based on a dynamical reduction of the numerical resolution in regions of the simulation domain that lie outside the past lightcone of the observer's position, while maintaining full resolution within the observable region of the domain. Such method, first implemented in the N-body code Gadget3 and validated on standard LCDM simulations (Garaldi et al. 2020), has been recently ported into the more advanced simulation codes Arepo and Gadget4, and also been tested on cosmological simulations beyond the standard LCDM model (Zangarelli et al. 2026).

The main goal of this research project is the benchmarking of these two simulation codes for large production runs on parallel supercomputing clusters and the preparation of a dedicated application for computational resources on the Cineca Leonardo machine (or other equivalent HPC clusters in Europe). To this aim, the recipient of the present research fundings will be requested to: (i) port the current implementation of the DZS method from the baseline Arepo and Gadget4 codes into the development versions of the same codes that include a wider range of cosmological models, in particular the PANDA framework that is being developed by the Bologna numerical cosmology group; (ii) test the method on various initial conditions settings, and benchmark its scaling properties; (iii) design a suite of large-volume cosmological simulations for a selected sample of non-standard cosmological models and collaborate on the preparation of a EuroHPC application for the allocation of the necessary computational resources.

These objectives require a detailed knowledge of the N-body codes employed in the project (Arepo and Gadget4) and of the DZS method, a solid expertise in HPC infrastructures and working principles, and coding fluency in the C and C++ programming languages and in the MPI parallelisation standard.