

Proposta Laboratorio CINI

“HPC Key technologies and tools”

Introduzione

L'High Performance Computing (HPC) svolge un ruolo vitale per le comunità scientifiche e industriali ed è sempre più importante per affrontare una serie di importanti sfide sociali che coinvolgono settori come la salute, l'alimentazione, il clima, ecc. Ha anche dimostrato di consentire rendimenti degli investimenti significativamente più elevati rispetto a molti altri settori economici e molte aziende si affidano attualmente all'HPC come fattore chiave per la loro competitività. Mentre diversi stati membri dell'UE hanno una propria strategia nazionale HPC, l'Unione Europea ha lavorato attivamente per fornire un quadro giuridico che permettesse il coordinamento degli sforzi nazionali ed europei, che ha portato tra l'altro come risultato la recente iniziativa EuroHPC. L'ecosistema HPC europeo coinvolge tre aree distinte: quella delle infrastrutture, quella delle applicazioni e quella delle tecnologie chiave e relativi strumenti. L'agenda di ricerca strategica (SRA) di ETP4HPC identifica una serie di aree tecniche specifiche che pongono importanti sfide per l'evoluzione e per la crescita futura dell'HPC europeo. Queste aree possono essere riassunte come: architettura e componenti dei sistemi HPC, software di sistema e gestione, ambiente di programmazione, energia, resilienza, bilanciamento del calcolo, I/O e prestazioni di archiviazione, big data e modelli di utilizzo HPC, modelli matematici e algoritmi per sistemi HPC su scala estrema, ma anche, in ambito non strettamente tecnico, istruzione e formazione, coinvolgimento delle PMI e start-up.

Come evidenziato dall'agenda di ricerca strategica ETP4HPC nella sua più recente versione, il mondo HPC sta attraversando una vera rivoluzione indotta, in particolare, dalla convergenza fra l'HPC tradizionale (attività ad alta intensità computazionale in ambito scientifico, come per esempio le simulazioni per la chimica e per la fisica) e l'elaborazione ed archiviazione di grandi quantità di dati così come l'high performance data analytics. Tale rivoluzione amplia sempre di più il campo di applicazione dell'HPC, con la crescente sovrapposizione di aree contigue come quelle del Big Data, dell'Intelligenza Artificiale (AI) e persino quelle dei Cyber Physical Systems (CPS) e di Internet of Things (IoT). Stanno emergendo di conseguenza nuovi modelli di utilizzo che vanno oltre la nozione tradizionale di struttura HPC, coinvolgendo nuove infrastrutture e paradigmi per l'implementazione di HPC su architetture Cloud, Fog e Edge. Questo suggerisce la possibilità di utilizzare in modo integrato soluzioni tecnologiche che vedono un più stretto accoppiamento fra calcolo computazionalmente intensivo e calcolo più tipicamente guidato dal flusso stesso dei dati (data driven). In quest'ottica, è fondamentale esplorare e sfruttare le tecnologie di prossima generazione nell'intero stack di sistema, coinvolgendo le architetture hardware e software, l'ingresso/uscita, i sistemi di archiviazione, gli algoritmi, gli ambienti e gli strumenti di programmazione (parallela) e persino le tecnologie di base come nuove le tecnologie di memoria/archiviazione, la nanoelettronica, la fotoelettronica e così via. In tale scenario, anche le tradizionali applicazioni HPC su larga scala necessitano di adattamento e riprogettazione. Nell'era exascale, tali applicazioni dovrebbero essere viste come un insieme di componenti eterogenei ad alte prestazioni, o moduli, anziché singole applicazioni monolitiche, in cui alcuni dei moduli sono già stati sviluppati e ottimizzati come componenti legacy. Tra le sfide tecniche rilevanti per l'HPC, di interesse anche per la comunità

scientifica italiana, risultano di primaria importanza due specifiche aree, ciascuna con le sue peculiarità e sotto aree: quella dell'efficienza energetica e quella della programmabilità e produttività.

In questo contesto, alcuni gruppi di ricerca hanno ritenuto importante avviare nel 2019 la creazione di un gruppo di lavoro, o *Working Group*, espressamente orientato alle tecnologie e strumenti abilitanti per l'HPC (*HPC Key Technologies and Tools*). Il Working Group ha organizzato un primo evento a Bologna sotto forma di workshop. L'evento si è svolto il 5 settembre 2019 ed ha visto la partecipazione di una settantina di ricercatori da diverse sedi universitarie, istituti CNR, INFN, nonché da rappresentanti delle realtà industriali che operano sul mercato HPC in Italia. Durante il workshop, ciascun gruppo ha presentato brevemente le propria attività ed interessi nel campo specifico del WG. Alla fine della giornata, si è anche discusso delle prospettive del WG e considerato la possibilità di richiedere la trasformazione in laboratorio CINI. Da settembre 2019 ad oggi, le attività hanno riguardato principalmente la partecipazione a iniziative di ricerca a livello europeo, ed in particolare:

- Call EuroHPC 2019: partecipazione a diverse proposte come WG CINI, di cui tre sono state finanziate e sono in fase di avvio (Admire, Across e Textarossa).
- Call EuroHPC 2020: partecipazione ai due Pilot, attualmente in valutazione.
- Call EuroHPC training: preparazione consorzio.

Obiettivi delle attività di ricerca

Diverse aree di interesse, con competenze specifiche rappresentate dall'attuale WG CINI "HPC Key technologies and tools", sono rilevanti per le principali iniziative tecnologiche HPC italiane, tra cui:

Efficienza energetica

La potenza richiesta da un centro HPC non può crescere oltre i limiti della fornitura locale, e tuttavia la previsione è che i sistemi post-Exascale possano arrivare a consumare più di 80 MW. Per risolvere questo problema, occorre che le infrastrutture HPC evolvano sia in termini hardware che software.

- **Hardware.** È possibile ottenere hardware più efficiente tramite l'utilizzo di acceleratori eterogenei specializzati (tipicamente di tipo riconfigurabile) e/o attraverso il calcolo "close to memory". Questi sistemi possono avere un impatto particolarmente efficace nelle aree di Big Data e Deep Learning.
- **Software.** L'intero stack software dovrebbe tenere conto dell'energia consumata in modo che le applicazioni siano rese consapevoli dell'energia consumata in fase di esecuzione. Adattività e autotuning saranno fondamentali per la gestione efficiente dell'energia applicazioni di lunga durata.

Programmabilità e produttività

La programmazione delle applicazioni HPC diventerà estremamente complessa, pur essendo già ora piuttosto difficile dal momento che richiede la necessità di combinare le competenze specifiche del dominio applicativo (spesso in domini altamente specialistici come la chimica computazionale o la fluidodinamica) con le competenze più tipiche dei modelli di programmazione parallela (citiamo ad es. MPI, OpenMP, SYCL). Nei sistemi HPC

futuri, la necessità di gestire proprietà non-funzionali oltre alle prestazioni ed alla alta eterogeneità dei sistemi di calcolo, renderanno la programmazione di sistemi HPC estremamente complessa. Questa sfida è chiaramente aggravata dalla differenze tipiche che si trovano fra gli stack software tipici dei contesti HPC e Big Data. Per risolvere questo problema, sarà necessaria una notevole evoluzione dell'intero stack software per HPC e dei relativi metodi di sviluppo nonché una stratificazione dell'intero stack software in modo che livelli via via più vicini al mondo applicativo mettano a disposizione diversi livelli di astrazione al programmatore di applicazioni HPC.

Modello di programmazione. I modelli di programmazione dovrebbero includere la possibilità di trattare l'efficienza energetica al pari di tutte le altre problematiche più tipiche del mondo HPC (per esempio quelle legate alle prestazioni), ma dovrebbero altresì permettere di separare chiaramente il trattamento dei requisiti funzionali ed extra-funzionali. Inoltre, sarà fondamentale garantire la possibilità di integrare in modo trasparente il supporto per acceleratori (anche di diverso tipo).

Compilatori. La tecnologia dei compilatori può aiutare ad affrontare le proprietà extra-funzionali, mettendo a disposizione valutazione delle prestazioni nonché l'ottimizzazione automatica delle proprietà del programma (ad es. ridimensionamento automatico della precisione di calcolo).

Sintesi di alto livello. È necessario mettere a disposizione sistemi di sintesi ad alto livello (High level Synthesis, HLS) che riescano a sfruttare appieno i sistemi hardware eterogenei e riconfigurabili. Mentre i tempi di riconfigurazione dinamica non rappresentano un problema nei sistemi HPC, la creazione di acceleratori personalizzati richiede ulteriori competenze che in generale sono piuttosto difficili da reperire. A tal fine, per garantire la possibilità di riuscire a progettare acceleratori personalizzati è necessario sviluppare una nuova generazione di strumenti per la generazione automatica di componenti.

Algoritmi e librerie di software scientifico. Occorre sviluppare nuovi algoritmi e librerie di software scientifico che supportino calcolo a diversi livelli di precisione, efficienza energetica ed eterogeneità. Questo richiede un ripensamento di molti kernel computazionali di applicazioni HPC in cerca di un compromesso tra la riduzione dell'energia totale utilizzata nel calcolo e la minimizzazione del tempo di sviluppo delle soluzioni, promuovendo la stabilità numerica, la riproducibilità dei risultati e la scalabilità.

Ulteriori problemi riguardano vari livelli dello stack software e richiedono il miglioramento dell'integrazione e della composizione di applicazioni legacy e componenti software, l'innovazione e una specifica influenza degli standard esistenti, l'usabilità e la programmabilità in modo da mettere a disposizione pratiche di programmazione standard e di ridurre i tempi di sviluppo delle soluzioni, il coinvolgimento delle piccole e medie imprese (PMI) sia come fornitori di tecnologia che come consumatori di servizi HPC.

Le aree di interesse generali delineate sopra portano alla definizione di un insieme di specifici obiettivi tecnologici di lungo termine, elencati di seguito.

- Obiettivo 1: Continuum digitale: supporto per nuovi modelli di distribuzione e utilizzo;
- Obiettivo 2: Orchestrazione: supporto per più modelli di programmazione ed esecuzione;
- Obiettivo 3: Prestazioni: funzionalità che consentano la scalabilità come concetto primitivo negli ambienti di programmazione;
- Obiettivo 4: Multi-tenancy: messa a disposizione di ambienti specifici adatti al mondo dell'industria e che permettano il trattamento dei requisiti extra funzionali;

- Obiettivo 5: Efficienza energetica: supporto sia in hardware sia in software; in particolare metodi di sviluppo software energy-aware;
- Obiettivo 6: Standardizzazione, come elemento fondamentale a supporto della catena di valore del Continuum digitale.

E' poi possibile individuare specifiche linee di attività funzionali al raggiungimento dei predetti obiettivi e di centrale interesse per il costituendo Laboratorio CINI:

- R1: Eterogeneità nello stack di sistema,
- R2: Co-Design,
- R3: Riusabilità del codice,
- R4: Confinamento e sviluppo modulare,
- R5: Composizione di aspetti funzionali ed extra-funzionali in tutto lo stack software,
- R6: Produzione di software end-to-end, intra e internodo,
- R7: Disponibilità delle risorse HPC e multi-tenancy,
- R8: Gestione dati: memory e storage walls,
- R9: Resilienza,
- R10: Affidabilità,
- R11: Calcolo approssimato,
- R12: Nuove architetture.

Lo scopo del laboratorio CINI può essere riassunto in tre punti:

- A. costituire una massa critica di competenze attorno ai temi sopra riassunti, che rafforzi le cooperazioni di ricerca già esistenti fra le diverse sedi del laboratorio e che permetta di instaurare nuove collaborazioni
- B. partecipare a progetti di ricerca ed azioni su larga scala sia nazionali che internazionali relativi alle problematiche di interesse del laboratorio, come ad esempio i prossimi bandi EuroHPC RIA nel contesto della European Processor Initiative. La partecipazione alle iniziative di ricerca potrà avvenire sia come Laboratorio che come singole sedi, a seconda dei contesti, sempre mantenendo un rapporto di continuità rispetto alle attività generali del laboratorio.
- C. contribuire alle azioni di coordinamento e orientamento nel mondo HPC con rappresentanti, documenti di indirizzo e brevi contributi, in modo da trasferire nelle sedi più opportune la visione del laboratorio e, in particolare, contributi più specificatamente legati al mondo degli strumenti per HPC in sedi dove normalmente sono molto presenti quasi esclusivamente le sole comunità che curando gli aspetti infrastrutturali ed applicativi del mondo HPC. ed in i

Più in particolare, sono previste molteplici azioni mirate al rafforzamento del ruolo della comunità scientifica italiana nelle iniziative di ricerca internazionali:

- partecipazione e organizzazione di eventi internazionali e presenza attiva nel monitoraggio delle iniziative in ambito HPC a livello europeo;
- partecipazione a progetti di ricerca con focus HPC sia in ambito nazionale che internazionale;
- collaborazione con organizzazioni e comitati di standardizzazione internazionali legate alle tecnologie HPC (ad esempio MPI e Khronos Group).

Attività di formazione

Il laboratorio prevede il coordinamento di attività di formazione, sia in ambito accademico che industriale/applicativo, sia di progettazione che di erogazione di attività di formazione vere e proprie. In effetti, le tematiche relative al mondo HPC non sono al momento rappresentate adeguatamente nel mondo accademico, a livello di insegnamenti nei diversi livelli della formazione universitaria. Le lauree di primo livello, sia in informatica che in ingegneria informatica, raramente includono insegnamenti specifici non solo relativi alle tematiche HPC ma anche relativi agli aspetti più squisitamente teorici relativi a concorrenza, parallelismo e tecniche di programmazione per macchine parallele, distribuite e dotate di acceleratori. Gli unici insegnamenti fondamentali dove si accenna a problemi di concorrenza sono spesso solo quelli di Sistemi Operativi (con i relativi laboratori) dove gli studenti vengono introdotti a concetti legati al multithreading. Aspetti più avanzati, se coperti, vengono affrontati in insegnamenti complementari o di indirizzo. Esistono poche lauree magistrali che affrontano specifiche tematiche HPC. Un esempio è il corso di laurea magistrale in Informatica e networking dell'Università di Pisa, che comprende insegnamenti specifici sulle tematiche HPC e quello in Informatica, indirizzo ICT, della stessa Università dove uno degli insegnamenti fondamentali di indirizzo tratta le problematiche tipiche dei data center.

Il laboratorio si propone di intervenire nel dibattito in corso a livello nazionale ed internazionale relativo ai contenuti da includere in eventuali lauree di primo e secondo livello per coprire le basi necessarie allo sviluppo di esperti HPC. In particolare si pone come obiettivo quello di identificare i contenuti fondamentali che dovrebbero essere inclusi nei diversi livelli di insegnamento universitario, fra i quali sicuramente andranno inclusi:

- tecniche generali per la programmazione concorrente, parallela e distribuita
- utilizzo di acceleratori riconfigurabili e non
- strumenti per lo sviluppo e la messa a punto di applicazioni HPC a diverse scale di parallelismo
- strumenti e tecniche per efficienza energetica delle applicazioni HPC
- ...

Oltre all'istruzione, ed in particolare a quanto di interesse per il mondo accademico, il laboratorio CINI metterà in campo azioni tese a garantire l'esistenza di un ecosistema HPC italiano all'altezza della realtà internazionale. Per questo, va creata la possibilità di avere un vero e proprio sistema di formazione continua che permetta di far crescere una comunità di utilizzatori e sperimentatori HPC industriali ed alimentare un insieme di realtà industriali che siano al contempo utilizzatori della tecnologia HPC e catalizzatori per nuove tecnologie e aree applicative verso la comunità HPC più tradizionale, ovvero quella dei ricercatori, degli addetti ai centri di supercalcolo e della comunità accademica. A tale proposito, il laboratorio lavorerà per definire linee guida unificanti per corsi di vario genere, fra cui

- **Corsi di base**
Tecniche base per l'utilizzo di sistemi HPC, modelli di programmazione per HPC, librerie e strumenti di configurazione, ...
- **Corsi di aggiornamento**
Diversi aspetti particolari o nuovi software e strumenti relativi alle stesse tematiche trattate nei corsi di base

- **Corsi di specializzazione**

Strumenti avanzati per HPC, modelli di programmazione, tecniche per l'ottimizzazione delle prestazioni (latenza, throughput, efficienza energetica, ..)

Queste attività saranno svolte all'interno del laboratorio, non trascurando le necessarie azioni di coordinamento ed integrazione con gli altri attori dello scenario HPC tipicamente attivi in quest'area, ovvero i principali fornitori di infrastrutture HPC (che tipicamente organizzano corsi a diversi livelli sugli strumenti messi a disposizione con l'infrastruttura stessa) o gli esperti dei domini applicativi (che tipicamente organizzano corsi su come gli strumenti messi a disposizione possano essere adattati alle esigenze specifiche del proprio dominio applicativo, sia in termini di performance e consumo energetico che di precisione dei calcoli e di possibilità di riutilizzo di componenti software ottimizzate già esistenti).

E' intenzione del laboratorio anche istituire (o sfruttare i già esistenti) canali diretti con i principali fornitori di tecnologia/hardware HPC che permettano da una parte di contribuire feedback e suggerimenti relativi agli strumenti di programmazione messi a disposizione dai fornitori di tecnologia in modo da contribuire al processo stesso di sviluppo di tali strumenti e d'altra parte che permettano di anticipare conoscenza relativa ai nuovi strumenti di sviluppo prima ancora che le loro versioni "di produzione" vengano rilasciate.

Attività di trasferimento tecnologico

Il laboratorio metterà in campo iniziative volte al trasferimento tecnologico ed alla creazione e consolidamento di attività di sensibilizzazione presso la comunità di utilizzatori industriali.

Il laboratorio intende affrontare argomenti di ricerca nell'area delle principali tecnologie HPC nello scenario dei sistemi pre-exascale ed exascale, ma anche nel contesto di sistemi su scala ridotta che sono spesso disponibili in istituti di ricerca, grandi industrie e consorzi di PMI. Alla base di questa scelta è la consapevolezza della possibilità e della convenienza di utilizzare lo stesso ambiente software e gli stessi strumenti e tecnologie su sistemi di scala diversa. Il gruppo proponente è anche consapevole del fatto che in sistemi paralleli a scala ridotta, sia in termini di quota di mercato che di interesse per gli ambienti accademici e industriali, la ricerca può essere considerata un vero e proprio fattore di svolta per lo sviluppo di tecnologie HPC. Il gruppo di lavoro non esclude di considerare sistemi integrati e le architetture distribuite/cloud come piattaforme per l'utilizzo delle tecnologie e degli strumenti su cui farà ricerca e sviluppo.

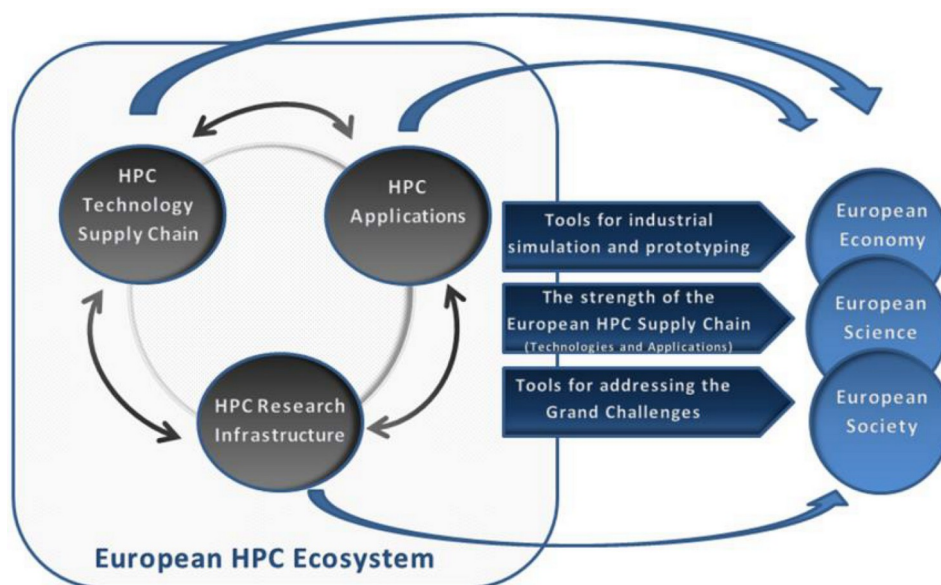
Più nello specifico, il laboratorio intende utilizzare il proprio know how HPC per mettere in campo iniziative di trasferimento tecnologico in due distinte modalità:

- in modo classico, come insieme di esperti nel settore HPC key technologies and tools in grado di fornire on demand a realtà industriali specifico know how. In questo ambito, uno dei primi passi del laboratorio sarà lo sviluppo in una "mappa delle competenze (in parte già elaborata all'interno del Gruppo di Lavoro) che permetta a soggetti industriale di capire se ci sono le competenze di interesse e chi le mette a disposizione. Questo presuppone l'interazione con realtà industriali in qualche modo "avanzate", ovvero che abbiano già un'idea delle potenzialità offerte dal mondo HPC e del possibile utilizzo della tecnologia HPC per i loro specifici interessi e domini.

- in modo proattivo, mettendo a disposizione tramite canali virtuali o diretti piccoli contributi in grado di evidenziare aspetti diversi delle tecnologie HPC che possono avere una rilevanza ed un impatto nel mondo industriale, in modo da catturare l'interesse di quelle realtà che non sanno delle possibilità offerte dall'HPC e non vedono già autonomamente la possibilità di utilizzare strumenti e tecnologia HPC a scale diverse per il miglioramento dei propri processi produttivi/di sviluppo. Entrambe le modalità (la prima più di tipo "pop", la seconda più di tipo "push") dovranno far leva sull'ingente know how HPC delle varie sedi che aderiscono al Laboratorio sia in forma integrata che per specifici campi di interesse ed applicazione.

Rapporto con le altre componenti del panorama nazionale HPC

L'ecosistema High Performance Computing (HPC) è come noto incentrato su tre distinti pilastri: infrastrutture, applicazioni e tecnologie chiave per HPC. All'interno di ciascuna di queste tre aree, possono essere identificate sfide importanti, nonché diverse linee di ricerca, che includono sia argomenti di ricerca tradizionali HPC, come il calcolo scientifico, che le applicazioni emergenti legate all'analisi di grandi moli di dati con i metodi dell'Intelligenza Artificiale, nonché l'evoluzione dei metodi di accesso al supercalcolo, dai sistemi batch ai sistemi interattivi basati su servizi cloud. I tre aspetti sono rappresentati nella figura sottostante.



L'iniziativa del laboratorio CINI sulle tecnologie chiave e tool per HPC si sviluppa tenendo presente la precedente mappa. In effetti, in uno scenario, sia europeo che italiano, in cui gli investimenti pubblici HPC sono stati principalmente indirizzati verso tematiche relative a Infrastrutture e Applicazioni, la proposta di laboratorio HPC Key technologies and tools si concentra sull'importanza che hanno le tecnologie chiave di HPC, identificata nei bandi più recenti e in quelli che stanno aparendo per progetti HPC europei come area principale da indagare (ad esempio nel programma EuroHPC-JU) e cui diversi gruppi in Italia hanno contribuito con attività di ricerca che hanno già portato a buoni risultati.

Spinto dalla rapida evoluzione degli ambiti applicativi dell'HPC, il laboratorio CINI svilupperà però forti collaborazioni con gli altri laboratori CINI su tematiche contigue, anche nell'ottica di contribuire a mettere a disposizione strumenti e piattaforme per calcolo ad alte prestazioni customizzate per specifiche esigenze applicative (piattaforme abilitanti per tecnologie di tipo diverso). In tal senso, il costituendo laboratorio punta ad essere complementare e sinergico rispetto sia ai gruppi che alle attività più direttamente correlate alle infrastrutture ed alle applicazioni. Si prevede in particolare la possibilità di identificare sinergie nella co-progettazione o co-tuning delle infrastrutture HPC su scale diverse, nonché lo sfruttamento di prospettive interessanti nella contaminazione reciproca tra le tecniche sviluppate per progettare e distribuire applicazioni HPC parallele in particolari domini applicativi e i risultati relativi allo sviluppo delle tecnologie chiave per HPC. All'interno dell'ecosistema CINI, il laboratorio si propone di interagire con i gruppi di lavoro ed i laboratori già esistenti in CINI che affrontano lo scenario HPC da prospettive più specifiche e dipendenti dall'applicazione (AI, Big Data, Machine learning, Bioinformatica, Applicazioni mediche, Cybersecurity, Smart cities, IoT, ecc.) così da raccogliere nuove sfide da indagare nello scenario tecnologico HPC e fornire competenze relative al calcolo parallelo in settori specifici di domini applicativi diversi. Il laboratorio spera ovviamente di contribuire a migliorare la qualità della visione e l'impatto del CINI nello scenario generale HPC. In tal senso, si punta a sviluppare attività di formazione e disseminazione, che al momento, a nostro avviso e negli ambiti più centrali per le attività del WG e del futuro laboratorio, sono piuttosto limitate nel panorama nazionale.

Budget Plan

Il laboratorio si propone di essere attivo nella ricerca di finanziamenti per le proprie attività in tre direzioni distinte ma sinergiche:

- partecipazione a progetti di ricerca finanziati da enti e istituzioni nazionali o internazionali;
- attività di consulenza nell'ambito delle iniziative di trasferimento tecnologico
- partecipazione ad attività legate alla progettazione e realizzazione di corsi di formazione a vari livelli (e.g. iniziative europee per la definizione di un curriculum HPC a livello di laurea specialistica e/o master probabilmente finanziato a breve nell'ambito delle diverse iniziative EuroHPC).

Il gruppo che propone la realizzazione di questo laboratorio ha già raccolto intenti di adesione da parte di un buon numero di sedi universitarie e laboratori CNR, che includono le sedi ed i laboratori già attivi in modo organico nello scenario della ricerca HPC a livello nazionale ed internazionale (europeo, in particolare).

Il mondo dei finanziamenti relativo alla ricerca HPC è in continua evoluzione, ma sia la presenza delle tematiche HPC nel nuovo PNR che gli sviluppi annunciati dai vari organi europei che presiedono alle attività di finanziamento della ricerca in ambito HPC fanno sperare che nei prossimi anni continuino ad esserci buone possibilità di finanziamento di attività di ricerca HPC.

In base a queste considerazioni, il gruppo che propone la costituzione di questo laboratorio ritiene ragionevole immaginare la partecipazione a un numero non trascurabile di proposte per ciascuna delle call che verranno aperte nei prossimi anni e ritiene altresì verosimile che si possa contare sulla approvazione di almeno un paio di proposte di progetti per call, il che

potrebbe tradursi nel finanziamento di attività del laboratorio nell'ordine dei 300K€-500K€ per anno.

Il gruppo ritiene anche che dopo la costituzione del laboratorio ed un periodo iniziale di attività di pubblicizzazione della sua esistenza e del know how messo a disposizione si possa pensare di avere una modesta ma non trascurabile attività di trasferimento tecnologico finanziate (conto terzi e dintorni) in grado di portare ulteriori contributi (sotto ai 100K€ annui) al laboratorio.

Infine, qualora le attività di formazione dettagliate precedentemente riuscissero a concretizzarsi nella fornitura di corsi specializzati sulle tematiche HPC di interesse del gruppo, potrebbero realizzarsi anche piccoli contributi (<10K€) derivanti dalla partecipazione ai corsi da parte di soggetti esterni (e.g. personale dell'industria, membri di gruppi di ricerca che sviluppino applicazioni, etc.)