



Istituto di Scienza e Tecnologie
dell'Informazione "A. Faedo"
Consiglio Nazionale delle Ricerche



ISTI Technical Reports

Progettare un'infrastruttura per la ricerca

Andrea Dell'Amico, ISTI-CNR, Pisa, Italy

Tommaso Piccioli, ISTI-CNR, Pisa, Italy

Franca Debole, ISTI-CNR, Pisa, Italy



Progettare un'infrastruttura per la ricerca
Andrea Dell'Amico, Tommaso Piccioli, Franca Debole
ISTI-TR-2022/045

Il lavoro descrive le scelte progettuali per la realizzazione di un'infrastruttura informatica presso l'ISTI-CNR, motivandole in base allo stato dell'arte tecnologico e alle esigenze della ricerca scientifica. L'infrastruttura IT comprende hardware, software e rete necessari a garantire operatività, gestione e sicurezza dei sistemi informativi. Dopo aver considerato diversi modelli architetturali (on-premise, cloud e ibrido), il testo evidenzia come il cloud computing sia oggi predominante grazie a caratteristiche come elasticità, accesso on-demand e condivisione efficiente delle risorse. Tuttavia, nel contesto della ricerca scientifica risultano fondamentali requisiti specifici come il controllo dell'ambiente di esecuzione, la riproducibilità degli esperimenti e la flessibilità operativa. Per questi motivi è stata adottata un'architettura di tipo IaaS (Infrastructure as a Service), che permette di combinare l'accesso a servizi infrastrutturali avanzati con un elevato controllo diretto sull'ambiente software. La soluzione scelta offre risorse come macchine virtuali, storage, rete e sistemi operativi, garantendo autonomia nella configurazione e gestione dell'infrastruttura. I principali vantaggi ottenuti riguardano il controllo tecnico, la riproducibilità dei risultati, il supporto alla collaborazione internazionale, l'adattabilità a esigenze diverse e la capacità di gestire carichi computazionali intensivi.

Keywords: Infrastruttura informatica, Cloud computing, Infrastructure as a Service (IaaS), Riproducibilità scientifica.

Citation

Dell'Amico A., Piccioli T., Debole F. *Progettare un'infrastruttura per la ricerca*. Technical Reports 2022/045. DOI: 10.32079/ISTI-TR-2022/045.

Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "A. Faedo"
Area della Ricerca CNR di Pisa
Via G. Moruzzi 1
56124 Pisa Italy
<http://www.isti.cnr.it>

Progettare un'infrastruttura per la ricerca

Andrea Dell'Amico¹, Tommaso Piccioli¹, Franca Debole^{1*}

Sommario

Il presente lavoro descrive le scelte progettuali adottate per la realizzazione di un'infrastruttura informatica presso l'Istituto ISTI del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), fornendone una giustificazione alla luce di un sintetico inquadramento dello stato dell'arte tecnologico e delle specificità del contesto operativo proprio dell'ambito della ricerca scientifica.

Per infrastruttura informatica si intende l'insieme integrato di componenti hardware, software e risorse di rete necessario a garantire l'operatività, la gestione e la sicurezza dei sistemi informativi. Tali infrastrutture possono essere implementate secondo diversi modelli architetturali, tra cui soluzioni on-premise, cloud o ibride, in funzione di requisiti quali costo complessivo, scalabilità, sicurezza e complessità gestionale. Negli ultimi anni, il paradigma del cloud computing si è progressivamente affermato come soluzione dominante, grazie a caratteristiche distintive quali elasticità, accesso on-demand e condivisione efficiente delle risorse. Nel contesto della ricerca scientifica, la progettazione di un'infrastruttura IT deve soddisfare requisiti stringenti, tra cui il controllo dell'ambiente di esecuzione, la riproducibilità degli esperimenti e l'agilità operativa. In tale quadro, le scelte progettuali sono state orientate verso un'architettura di tipo IaaS, ritenuta idonea a coniugare il controllo diretto dell'ambiente software con l'accesso a servizi infrastrutturali avanzati. Questo approccio consente la disponibilità di risorse fondamentali — quali macchine virtuali, sistemi di storage, componenti di rete e sistemi operativi — garantendo al contempo un'elevata autonomia nella gestione e configurazione dell'ambiente software. Ne derivano benefici significativi in termini di controllo tecnico, riproducibilità dei risultati, supporto alla collaborazione internazionale, adattabilità a requisiti eterogenei e capacità di sostenere carichi computazionali intensivi.

Keywords

Infrastruttura informatica – Cloud computing – Infrastructure as a Service (IaaS) – Riproducibilità scientifica

¹ Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "A. Faedo", Consiglio Nazionale delle Ricerche, Via G. Moruzzi 1, 56124, Pisa, Italy

*Corresponding author: franca.debole@isti.cnr.it

L'obiettivo di questo lavoro è descrivere la fase di progettazione di un'infrastruttura basata su Cloud Computing in un contesto di ricerca come quello di un'istituto del CNR. In particolare, il fine è individuare e giustificare le scelte architetturali più adatte a soddisfare i requisiti operativi di un ambiente di ricerca, partendo da un'analisi teorica iniziale e arrivando a una soluzione progettuale concreta e motivata. Il presente lavoro è organizzato nel seguente modo: un'introduzione ai concetti di infrastruttura informatica, al Cloud Computing e alle sue caratteristiche (Sezione 1), per poi approfondire i requisiti specifici del mondo della ricerca (Sezione 2). Sulla base di tali elementi vengono quindi delineate e motivate le scelte che guidano la progettazione dell'infrastruttura (Sezione 3).

L'analisi dei requisiti (Sezione 2) costituisce infatti il passaggio centrale del percorso: orienta la definizione dell'architettura (Sezione 3), permettendo di individuare la soluzione più coerente con le esigenze operative.

1. Introduzione

L'infrastruttura informatica (IT) rappresenta l'insieme dei componenti essenziali necessari per garantire il funzionamen-

to, la gestione e la sicurezza degli ambienti informatici. Le componenti fondamentali dell'IT sono:

- **Hardware.** L'hardware comprende i server, i data center, i personal computers, i router, gli switch e altre apparecchiature di rete e gestione. Anche le strutture di supporto dei data center — comprese le infrastrutture di raffreddamento, alimentazione e sicurezza — sono considerate componenti integrati dell'infrastruttura, essendo fondamentali per la continuità operativa e la stabilità dei servizi.
- **Software.** Il software si riferisce alle applicazioni e alle piattaforme, tra cui server web, sistemi di gestione del contenuto e sistemi operativi. Il sistema operativo svolge un ruolo centrale nella gestione delle risorse hardware e software, stabilendo le connessioni operative tra i componenti e garantendo la compatibilità e l'efficienza dei processi.
- **Reti.** Le reti sono il collegamento fondamentale tra i componenti hardware e software, permettendo la comunicazione, la gestione e l'esecuzione delle operazioni di

rete all'interno e all'esterno. Per garantire la funzionalità, sono necessari: firewall, meccanismi di sicurezza, e hardware di rete (router, switch, cablaggio).

In base a esigenze specifiche, quali il volume dei dati sensibili, la criticità e la quantità delle applicazioni legacy, la domanda prevista di risorse e i costi, l'IT può essere organizzata in ambienti fisici di proprietà o distribuiti in infrastrutture di cloud computing.

Vediamo appunto quali possono essere le diverse tipologie di infrastrutture IT:

Infrastruttura Tradizionale (on-premise). Nell'infrastruttura tradizionale, i componenti come data center, storage e server sono di proprietà e gestiti internamente dall'organizzazione. Questo modello richiede un investimento significativo in hardware, spazio fisico, energia e personale tecnico, e solitamente è associato a costi elevati e a complessità di gestione.

Infrastruttura Cloud. L'infrastruttura cloud è costituita da server, storage, virtualizzazione e networking, ovvero componenti tecnologici che consentono di fornire servizi tecnologici tramite Internet: l'organizzazione non possiede direttamente l'hardware sottostante, ma ne usufruisce. Il cloud consente elevata scalabilità ed elasticità, permettendo di adattare dinamicamente le risorse alle esigenze operative, riducendo al contempo la complessità gestionale e i tempi di provisioning.

Infrastruttura Ibrida. una delle tendenze più significative è l'adozione di un'infrastruttura IT ibrida, che integra componenti locali (on-premise) e servizi cloud. Questo approccio consente di sfruttare i vantaggi del cloud — come scalabilità e flessibilità — per le applicazioni che ne hanno bisogno, mentre mantiene le applicazioni critiche e i dati sensibili in ambienti on-premise, dove si può garantire un controllo più elevato e un livello di sicurezza ottimale. L'infrastruttura IT è un elemento strategico per l'operatività e la competitività di un'organizzazione. La sua progettazione e gestione devono considerare non solo le necessità tecniche, ma anche le conseguenze strategiche, operative e di sicurezza. La gestione dell'infrastruttura IT comprende la coordinazione e l'ottimizzazione delle risorse, dei sistemi, delle piattaforme, del personale e degli ambienti informatici. Tra le principali aree di gestione si considerano:

- Gestione del sistema operativo: supervisione degli ambienti eseguiti tramite contenuti, patch, provisioning e sottoscrizioni.
- Gestione della virtualizzazione: interazione con ambienti virtualizzati e hardware sottostante per semplificare l'amministrazione, migliorare l'analisi dei dati e accelerare i processi.
- Gestione del *cloud*: controllo delle risorse cloud, inclusi utenti, dati, applicazioni e servizi, con gestione del deployment, utilizzo, integrazione e disaster recovery.
- Automazione dell'IT: creazione di procedure ripetibili e automatizzabili per ridurre l'interazione manuale e migliorare l'efficienza operativa.

- Orchestrazione dei container: gestione automatizzata del deployment, della scalabilità, della gestione e del networking dei container.
- Gestione della configurazione: assicurazione della coerenza e conformità dei sistemi, server e software alle esigenze aziendali.
- Gestione delle API: controllo, distribuzione e analisi delle interfacce di programmazione applicativa (API) per la connessione tra applicazioni e dati.
- Gestione del rischio: identificazione, valutazione e mitigazione dei rischi, con pianificazione di monitoraggio e contenimento.
- Gestione dei dati: raccolta, archiviazione, gestione e analisi dei dati, con definizione delle proprietà, ubicazioni, accessi e utenti autorizzati.
- Gestione dei processi IT: definizione e ottimizzazione dei processi aziendali, attraverso modelli di business e analisi continua.

Nella prossima sezione 1.1 andremo a discutere delle caratteristiche del tipo di Infrastruttura IT più diffusa al momento: l'Infrastruttura Cloud.

1.1 Cloud Computing

Da diversi anni assistiamo alla crescita esponenziale della quantità di dati a livello globale, spinta anche dall'uso sempre più diffuso di tecnologie e soluzioni legate all'Intelligenza Artificiale. Questa crescita esplosiva ha alimentato la domanda di soluzioni di storage/compute enterprise in grado di garantire una serie di requisiti fondamentali: flessibilità, affidabilità, prestazioni, facilità d'uso e massima sicurezza. In questo contesto il paradigma del Cloud computing inteso come calcolo distribuito su larga scala in cui risorse condivise, software e informazioni sono gestiti ed erogati on-demand ai clienti esterni attraverso la rete Internet.

"Cloud computing is a model for enabling ubiquitous, convenient, on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources (e.g., networks, servers, storage, applications, and services) that can be rapidly provisioned and released with minimal management effort or service provider interaction. This cloud model is composed of five essential characteristics, three service models, and four deployment models. ..."

Prendendo spunto da questa definizione di Cloud Computing da parte di NIST ¹, in questa sezione tratteremo le sue varie sfaccettature:

- Caratteristiche essenziali;
- Modelli di distribuzione;
- Modelli di servizio.

Una infrastruttura cloud è definita come l'insieme di hardware e software che realizza le cinque caratteristiche essenziali

¹<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/sp/nistspecialpublication800-145.pdf>

del cloud computing. L'infrastruttura cloud può essere concepita come costituita da due livelli distinti: uno fisico e uno di astrazione. Il livello fisico è costituito dalle risorse hardware necessarie per fornire supporto ai servizi cloud. Tali risorse includono tipicamente server, storage e componenti di rete. Il livello di astrazione è costituito dal software distribuito sul livello fisico, che manifesta le caratteristiche essenziali del cloud, inteso come insieme di server remoti collegati tra loro per offrire servizi di storage e di elaborazione dati. Concettualmente, il livello di astrazione si colloca al di sopra del livello fisico.

1.2 Caratteristiche essenziali

- **Self-service su richiesta.** Un consumatore può avere accesso a risorse informatiche, quali tempo server e archiviazione di rete, in base alle necessità e in modo automatico, senza richiedere l'intervento umano del fornitore di servizi.
- **Ampio accesso alla rete.** Le risorse sono disponibili sulla rete e accessibili tramite meccanismi standard da diverse piattaforme client eterogenee (telefoni cellulari, tablet, laptop e workstation).
- **Pooling delle risorse.** Le risorse informatiche del fornitore vengono messe in comune per servire più consumatori utilizzando un modello multi-tenant, con diverse risorse fisiche e virtuali assegnate e riassegnate dinamicamente in base alla domanda dei consumatori. Il cliente non ha alcun controllo o conoscenza della posizione esatta delle risorse fornite, il che gli conferisce un senso di indipendenza dalla posizione. Esempi di risorse includono archiviazione, elaborazione, memoria e larghezza di banda di rete.
- **Rapida elasticità.** Le capacità possono essere fornite e rilasciate in modo elastico, in alcuni casi automaticamente, al fine di poter scalare celermente verso l'esterno e verso l'interno, in base alla domanda. Al consumatore, le capacità disponibili spesso paiono illimitate e appropriate in qualsiasi quantità e in qualsiasi momento.
- **Misurazione del servizio.** I sistemi cloud controllano e ottimizzano automaticamente l'utilizzo delle risorse sfruttando una capacità di misurazione adeguato al tipo di servizio (ad esempio, archiviazione, elaborazione, larghezza di banda e account utente attivi). L'utilizzo delle risorse può essere monitorato, controllato e segnalato, garantendo trasparenza sia al fornitore che al consumatore del servizio utilizzato.

1.3 Modelli di distribuzione

Esistono quattro modelli principali di distribuzione cloud (Figura 1):

Cloud pubblico. In un cloud pubblico, le risorse di proprietà di un fornitore sono condivise con tutti i clienti: ambienti basati su un'infrastruttura IT che solitamente non appartiene

al cliente e di cui il fornitore gestisce le risorse in maniera efficiente distribuendo i carichi di lavoro e del tutto invisibile al cliente. I cloud pubblici sono scalabili e hanno un modello di prezzo pay-as-you-go.

Cloud privato. Un cloud privato utilizza lo stesso modello di un cloud pubblico, ma utilizzato da una singola organizzazione. Questa configurazione offre maggiore sicurezza e privacy, ma a un costo maggiore. Un cloud privato può essere fornito in un data center privato, in una struttura di colocation o nel data center del cliente stesso.

Cloud ibrido. Un cloud ibrido consente alle organizzazioni di combinare le risorse di data center locali con le risorse del cloud pubblico ottenendo una maggiore flessibilità: un'organizzazione può scegliere di utilizzare un data center locale per le applicazioni legacy che non possono essere migrate senza problemi o per i dati regolamentati che richiedono la localizzazione.

Multicloud. Il termine multicloud si riferisce all'uso di più di un fornitore di servizi cloud, pubblici o privati. Tutti i cloud ibridi sono multicloud, ma non tutti i multicloud sono cloud ibridi. I multicloud diventano cloud ibridi quando i diversi cloud vengono connessi tramite una qualche forma di integrazione o di orchestrazione. Un approccio multicloud offre alle organizzazioni flessibilità e resilienza anche se può essere più complesso da gestire.

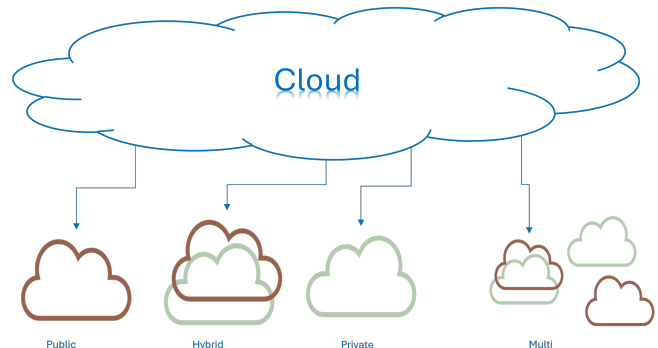


Figura 1. Modelli di distribuzione del cloud: *public*, *hybrid*, *private*, *multi*.

1.4 Modelli di servizio

Il Cloud Computing offre la possibilità di attuare i seguenti modelli per l'uso e la diffusione dei servizi:

Software as a Service (SaaS) Il SaaS si riferisce al software fornito tramite un'infrastruttura cloud. Il consumatore non è coinvolto nella gestione o nel controllo dell'infrastruttura cloud sottostante (reti, server, sistemi operativi, eccetera). Tuttavia, è possibile che il consumatore abbia un controllo limitato sulle impostazioni di configurazione delle applicazioni specifiche per l'utente. Il software è gestito dal fornitore di servizi e la scalabilità, le nuove funzionalità e gli aggiornamenti di sicurezza vengono forniti automaticamente.

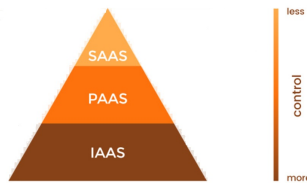


Figura 2. Rapporto tra i diversi modelli di servizi: *IaaS*, *PaaS*, *SaaS*.

Platform as a Service (PaaS) Il PaaS offre servizi che mirano a semplificare lo sviluppo e la distribuzione delle applicazioni. Il consumatore ha la possibilità di implementare sull'infrastruttura cloud applicazioni create o acquisite dal consumatore utilizzando linguaggi di programmazione, librerie, servizi e strumenti supportati dal fornitore. Il consumatore non gestisce né controlla l'infrastruttura cloud sottostante, inclusi rete, server, sistemi operativi o archiviazione, ma ha il controllo sulle applicazioni implementate ed eventualmente sulle impostazioni di configurazione dell'ambiente di hosting delle applicazioni.

Infrastructure as a Service (IaaS) Lo IaaS offre come servizi l'intera Infrastruttura IT: il consumatore ha accesso all'infrastruttura ed è in grado di implementare ed eseguire software arbitrario, che può includere sistemi operativi e applicazioni. Il consumatore non gestisce né controlla l'infrastruttura cloud sottostante, ma ha il controllo sui sistemi operativi, sull'archiviazione e sulle applicazioni implementate ed eventualmente un controllo limitato su determinati componenti di rete.

Lo IaaS è considerato il modello più flessibile tra i tre, perché:

- L'utente può adattare l'infrastruttura in tempo reale (aggiungere o ridurre CPU, memoria, storage, modificare configurazioni e risorse di rete).
- Può scalare orizzontalmente (aggiungere più server) o verticalmente (aumentare la potenza di un singolo server).
- Può usare solo ciò che serve, senza dover prevedere le esigenze future e i costi associati.

2. Analisi dei requisiti

La presente sezione ha l'obiettivo di analizzare le peculiarità che caratterizzano il settore della ricerca, identificando i criteri utilizzati per selezionare il modello di infrastruttura informatica più adeguato al contesto specifico.

Controllo. Nel mondo della ricerca è spesso richiesto un controllo totale dell'ambiente. Sovente ai ricercatori capita di dover installare versioni specifiche di librerie, usare compilatori particolari, lavorare con software sperimentale, modificare configurazioni di basso livello e in questo caso un'infrastruttura IT deve essere il più possibile uno strumento modellabile.

Riproducibilità. Un principio cardine della scienza è la riproducibilità, cioè un risultato scientifico è solido solo se:

- può essere replicato dallo stesso gruppo,
- può essere riprodotto da gruppi indipendenti,
- produce risultati coerenti nel tempo.

Nella pratica, però, molti problemi di riproducibilità non dipendono dall'algoritmo o dal metodo scientifico, ma dall'ambiente computazionale.

Agilità. Con agilità scientifica possiamo intendere: la capacità di un gruppo di ricerca di formulare, testare, modificare e validare ipotesi in modo rapido, iterativo e adattivo. L'agilità scientifica aumenta quando il gruppo di ricerca può auto-provisionare le risorse, controllare direttamente l'ambiente e adattare rapidamente l'infrastruttura.

Nella ricerca moderna — che si tratti di intelligenza artificiale, bioinformatica, fisica computazionale o economia quantitativa — il progresso non avviene in modo lineare, ma attraverso una sequenza continua di tentativi, verifiche e correzioni. Il lavoro scientifico è sempre più caratterizzato da iterazioni frequenti, in cui ogni risultato ottenuto diventa il punto di partenza per un nuovo esperimento. Questo processo iterativo è il cuore stesso dell'innovazione scientifica. Tuttavia, se ogni nuova prova comporta tempi di attesa per ottenere risorse di calcolo su un cluster HPC, riconfigurazioni manuali dell'ambiente o vincoli dovuti a limitazioni hardware, l'intero ciclo si rallenta drasticamente. L'energia creativa e l'intuizione del ricercatore finiscono per scontrarsi con barriere infrastrutturali, trasformando un processo che dovrebbe essere rapido e dinamico in un percorso lento e frammentato.

L'equilibrio tra servizi gestiti e completa autonomia per i ricercatori nella gestione dei propri ambienti è la motivazione principale che ci ha portati verso un modello di infrastruttura informatica con il modello IaaS. Tale soluzione consente ai ricercatori di focalizzarsi sulla scienza, anziché sulla gestione dell'hardware. Il ricercatore ottiene tutte le risorse di base (server virtuali, disco, rete, sistema operativo) e può gestire liberamente le applicazioni, i dati, il sistema operativo, il middleware e i runtime, grazie a un'infrastruttura che fornisce:

- controllo tecnico dell'ambiente di lavoro completo;
- ambienti riproducibili;
- promozione della cooperazione internazionale;
- capacità di adattarsi a esigenze mutevoli;
- capacità di affrontare carichi computazionali intensi.

3. Progettazione

Alla luce di alcune analisi teoriche e, soprattutto, dallo studio dei requisiti del contesto, la scelta di adottare un'infrastruttura cloud di tipo IaaS risponde all'esigenza di coniugare flessibilità, controllo e scalabilità.

In particolare, l'analisi dei requisiti ha evidenziato la necessità di disporre di un ambiente altamente configurabile, in cui sia possibile gestire in modo diretto le risorse computazionali, la rete e i sistemi operativi. Il modello IaaS consente

Soluzione	Tipologia	Vantaggi principali	Limiti principali
AWS / Azure / GCP	Cloud pubblico	Alta affidabilità, servizi gestiti, scalabilità immediata	Limitato controllo, costi che crescono in modo esponenziale al crescere delle risorse e dei servizi utilizzati, vendor lock-in
VMware	Proprietaria	Soluzione stabile, supporto enterprise, integrazione consolidata	Costi elevati, tecnologia chiusa, dipendenza dal vendor, pochi servizi aggiuntivi, API limitate, integrazione limitata con storage distribuito
Proxmox VE	Open Source	Semplicità, buona integrazione con virtualizzazione	Limitata gestione avanzata di networking e multi-tenancy, pochi servizi aggiuntivi, API limitate, integrazione limitata con storage distribuito
oVirt	Open Source	Semplicità, virtualizzazione tradizionale	Limitata gestione avanzata di networking e multi-tenancy, pochi servizi aggiuntivi, API limitate, integrazione limitata con storage distribuito
Apache CloudStack	Open Source	Semplicità di gestione, buona stabilità	Poca modularità, ecosistema limitato
OpenNebula	Open Source	Facilità di implementazione, leggerezza	Scalabilità e funzionalità avanzate limitate
OpenStack	Open Source	Elevata modularità, scalabilità, controllo completo, ampio ecosistema	Notevole complessità di gestione

Tabella 1. Confronto tra le principali soluzioni IaaS considerate

infatti di mantenere un elevato grado di controllo sull'infrastruttura, permettendo di adattarla alle specifiche esigenze applicative e operative del contesto considerato. Allo stesso tempo, la soluzione cloud garantisce una notevole scalabilità, rendendo possibile aumentare o ridurre le risorse in base al carico di lavoro, senza dover intervenire su infrastrutture fisiche. Questo aspetto risulta particolarmente rilevante in scenari in cui la domanda può variare nel tempo.

Infine, rispetto ad altri modelli di servizio, lo IaaS rappresenta un buon compromesso tra gestione e astrazione: da un lato evita i costi e la complessità legati alla gestione dell'hardware fisico, dall'altro non impone i vincoli tipici di soluzioni più "chiuse" come PaaS o SaaS, risultando quindi più adatto quando sono richieste personalizzazione e controllo.

Nell'ambito della progettazione dell'infrastruttura, sono state analizzate diverse soluzioni IaaS, includendo piattaforme di cloud pubblico, quali AWS², Microsoft Azure³ e Google Cloud Platform⁴, soluzioni proprietarie on-premise come VMware⁵ e soluzioni open source sia nell'ambito della virtualizzazione classica sia nell'ambito del cloud computing. Le soluzioni di cloud pubblico, pur offrendo elevati livelli di affidabilità e servizi gestiti avanzati, sono state escluse in quanto non garantiscono un controllo completo sull'infrastruttura sottostante e introducono vincoli legati al modello operativo e ai costi variabili nel tempo. Tali caratteristiche risultano meno compatibili con scenari in cui è richiesta una gestione

diretta e personalizzata delle risorse, oltre a possibili vincoli normativi o di localizzazione dei dati (data residency). Infatti, in ambito scientifico europeo, la localizzazione dei dati non è solo una scelta tecnica, ma un requisito strategico e normativo. Essa influenza direttamente le decisioni architetturali, spingendo verso soluzioni che garantiscano controllo, trasparenza e conformità alle normative europee.

Le piattaforme proprietarie, come VMware, esse rappresentano soluzioni mature e ampiamente diffuse in ambito enterprise, ma comportano costi di licenza significativi e una completa dipendenza da tecnologie proprietarie. Questo aspetto è risultato in contrasto con l'esigenza di mantenere elevata flessibilità evolutiva e contenere i costi nel lungo periodo, oltre a una preferenza per il software Open Source.

Per quanto concerne le tecnologie impiegate, si è optato per l'adozione di software open source. L'approccio open source ci consente di eludere la dipendenza da un fornitore esterno, un fenomeno noto come *vendor lock-in*. Grazie alle soluzioni open source, è possibile modellare il sistema in base alle proprie esigenze specifiche, senza essere vincolati alle roadmap di un fornitore. Soluzioni basate su software open source sono anche più coerenti con l'approccio aperto che caratterizza gli enti di ricerca.

Tra le alternative open source sono state considerate Apache CloudStack⁶, OpenNebula⁷, OpenStack⁸, oVirt⁹ e Proxmox VE¹⁰. Tra queste soluzioni Apache CloudStack e

²<https://aws.amazon.com>

³<https://azure.microsoft.com>

⁴<https://cloud.google.com>

⁵<https://www.vmware.com>

⁶<https://cloudstack.apache.org>

⁷<https://opennebula.io>

⁸<https://www.openstack.org>

⁹<https://www.ovirt.org>

¹⁰<https://www.proxmox.com>

OpenNebula, sebbene vantaggiose in termini di semplicità di gestione e rapidità di implementazione, risultano meno complete sotto il profilo della modularità, dell'estendibilità e della capacità di gestire scenari complessi e su larga scala, in particolare per quanto concerne la gestione avanzata del networking, la multi-tenancy e l'integrazione con componenti eterogenei. Proxmox e oVirt hanno l'ulteriore svantaggio di essere più simili a strumenti di virtualizzazione classica, e quindi con un supporto a API di gestione limitato e con un numero di servizi, oltre alla virtualizzazione, molto limitato. Questi servizi aggiuntivi (ad esempio: load balancer, object storage, file system sharing, DNS, gestione di regole di firewall) sono ormai

Alla luce di tali considerazioni, elencate sinteticamente in Tabella 1, OpenStack è stato selezionato in quanto rappresenta la soluzione che meglio soddisfa i requisiti individuati, offrendo un elevato grado di controllo sull'infrastruttura, ampia flessibilità architetturale, supporto alla scalabilità e un ecosistema maturo e modulare.

3.1 Soluzione Adottata

In questa sezione verranno descritte, sulla base di quanto illustrato nelle sezioni precedenti, le soluzioni adottate e le configurazioni scelte per la realizzazione dell'infrastruttura IT, in particolare, come tecnologie alla base abbiamo scelto:

- OpenStack per la parte di calcolo,
- Ceph per la parte di storage.

OpenStack. La fruizione dei servizi avviene in modalità Infrastructure as a Service (IaaS): macchine virtuali gestite attraverso dashboard o linea di comando. La piattaforma offre agli utenti tutti i vantaggi tipici dei servizi cloud presenti sul mercato:

- agilità e flessibilità: utilizzo delle risorse solo quando necessario;
- alleggerimento del carico di gestione e manutenzione di apparati e servizi da parte degli utenti;
- interfacce di programmazione (API) per l'automazione dei processi di provisioning e gestione dell'infrastruttura.

OpenStack rappresenta la soluzione open source più diffusa e consolidata per la realizzazione di cloud pubblici e privati; nel contesto della ricerca e dell'istruzione è stata ampiamente adottata e oggetto di approfondite analisi nel corso degli anni, come evidenziato da diversi studi in letteratura [1, 2, 3, 4]. Focalizzandoci sul nostro territorio queste sono alcune delle organizzazioni italiane che usano OpenStack:

- GARR¹¹: la rete nazionale ad altissima capacità dedicata alla comunità dell'istruzione, della ricerca e della cultura.
- CINECA¹²: tra i maggiori centri di calcolo in Italia e uno dei più avanzati al mondo per il calcolo ad alte prestazioni.

- INFN¹³: ente pubblico nazionale di ricerca dedicato allo studio dei costituenti elementari della materia e delle leggi fondamentali dell'universo.

Ceph. La piattaforma di storage distribuito, scalabile e software-defined, progettata per ambienti cloud e data center moderni. Non è semplicemente uno storage: è un sistema che unifica più modalità di accesso ai dati in un'unica architettura. Ceph replica automaticamente i dati tra nodi diversi. Se un server o un disco si guasta, il sistema continua a funzionare. Non esiste un controller centrale che possa diventare un punto critico. Inoltre, Ceph offre uno storage unificato che supporta diversi metodi di accesso ai dati, come l'Object storage (compatibile con S3), il Block storage (per le macchine virtuali) e il File system distribuito, il tutto in un'unica piattaforma.

Due sono le configurazioni che abbiamo scelto per l'infrastruttura:

- Configurazione Hyperconverged (HCI): consolida le risorse di calcolo, storage e networking in un sistema unificato.
- Configurazione High Availability (HA): permette di ridurre in modo drastico i downtime e elimina i single point of failure, anche se complica la modalità di installazione.

HCI. Per modalità HCI si intende un'architettura in cui calcolo (compute) e storage condividono gli stessi nodi fisici: invece di avere server dedicati per lo storage e server separati per le VM, ogni nodo ospita sia le VM che i servizi di storage distribuito. Ogni nodo del cluster esegue delle istanze, contribuisce con i propri dischi locali al pool di storage e replica i dati sugli altri nodi, garantendo notevoli vantaggi in termini di efficienza hardware e scalabilità. Gli aspetti negativi sono l'esigenza di effettuare fine tuning di kernel Linux per quanto riguarda uso di CPU, scheduler e gestione della memoria in modo da riservare allo storage risorse a sufficienza per non andare in crisi.

HA. In modalità HA un'architettura IT ha la capacità di essere accessibile e affidabile per valori vicini al 100% del tempo, riducendo al minimo i tempi di indisponibilità. Combina due concetti: - un determinato servizio o server sia accessibile, o disponibile, quasi il 100% del tempo senza tempi di inattività - il servizio o il server funzioni secondo aspettative ragionevoli per un periodo di tempo stabilito. Con *alta disponibilità* ci riferiamo a sistemi resilienti, affidabili e ben funzionanti. L'infrastruttura HA dipende dall'individuazione e dall'eliminazione dei single point of failure che potrebbero contribuire ad aumentare i tempi di indisponibilità del sistema. I diversi tipi di errori che possono verificarsi in un'infrastruttura IT moderna e complessa includono guasti hardware, guasti software (sia per il sistema operativo che per le applicazioni in esecuzione), guasti dei servizi (come l'inaccessibilità della rete e la latenza o i servizi cloud o il de-

¹¹<https://www.garr.it/en/garr-services/cloud-garr>

¹²<https://www.hpc.cineca.it/systems/hardware/ada-cloud>

¹³<https://www.cloud.infn.it>

grado delle prestazioni) e guasti esterni, come le interruzioni di energia elettrica.

3.2 Caratteristiche delle Tecnologie

In questa sezione si illustrano le principali caratteristiche delle tecnologie introdotte nella sezione precedente, evidenziandone gli aspetti più rilevanti ai fini della progettazione e dell'implementazione dell'infrastruttura.

3.2.1 OpenStack

OpenStack è una piattaforma open source che utilizza pool di risorse per creare e gestire sia cloud private che pubbliche. Le componenti che formano la piattaforma OpenStack, note come "progetti" visibili in Figura 3, gestiscono i principali servizi di cloud computing, inclusi elaborazione, rete, storage, identità e gestione delle immagini. I sei servizi principali rappresentano l'infrastruttura.

1. Nova: è un completo strumento di gestione e accesso alle risorse di calcolo OpenStack — gestisce la pianificazione, la creazione e la rimozione di istanze di macchine virtuali.
2. Neutron collega le reti tra i vari servizi OpenStack.
3. Swift è un servizio di archiviazione degli oggetti altamente tollerante ai guasti che consente di archiviare e recuperare oggetti non strutturati tramite un'API REST.
4. Cinder fornisce archiviazione blocco persistente accessibile tramite un'API di servizio autenticato.
5. Keystone autentica e autorizza tutti i servizi OpenStack. è anche il catalogo degli endpoint per tutti i servizi.
6. Glance permette di archiviare e recuperare immagini di dischi e sistemi operativi e dà accesso a metadata che permettono di definire risorse all'interno di una installazione OpenStack.

OpenStack è costituito da una serie di API, utilizzabili applicativamente o da interfaccia grafica per creare e gestire ambienti *cloud like*.

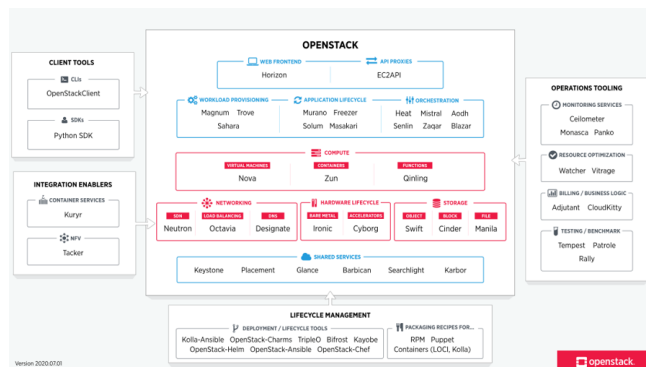


Figura 3. OpenStack e i vari progetti.

3.2.2 Ceph

Ceph è un sistema di storage software open source distribuito, che offre accessi al disco di tipo diverso all'interno di un'unica piattaforma. È concepito per operare su hardware non specializzato e utilizza un algoritmo denominato CRUSH [5] per distribuire in modo uniforme i dati tra cluster e sotto-cluster. Ceph fornisce una soluzione flessibile, scalabile, affidabile e distribuita in modo intelligente per l'archiviazione dei dati, basata su RADOS (Reliable Autonomic Distributed Object Store [6]). Manipolando tutti gli storage come oggetti, Ceph è in grado di distribuire facilmente i dati in un cluster, anche per i tipi di archiviazione diversi. Infatti, Ceph supporta tre tipi di storage in un unico sistema:

- Archiviazione basata su oggetti
- Archiviazione basata su blocchi
- Archiviazione su file system

L'architettura di base di Ceph (Figura 4) raggiunge questo obiettivo implementando RGW (RADOS Gateway), RBD (RADOS Block Device) e CephFS (un file system conforme a POSIX) su RADOS. A queste si aggiunge un set di librerie (LIBRADOS) che semplificano l'uso nativo di Ceph da parte delle applicazioni.

Ceph risponde all'esigenza di soluzioni di storage scalabili ed economiche, offrendo flessibilità, alte prestazioni e affidabilità in un'unica piattaforma. L'architettura distribuita consente ribilanciamento automatico, gestione intelligente degli OSD e ripristino dei guasti, mentre i monitor controllano costantemente lo stato del cluster e la disponibilità dei dati. Grazie alla distribuzione e replica dei dati tramite hashing sfruttando l'algoritmo CRUSH, Ceph assicura un'allocazione bilanciata ed efficiente su tutto il cluster. La replica continua e il rilevamento rapido dei guasti garantiscono integrità dei dati e continuità operativa.

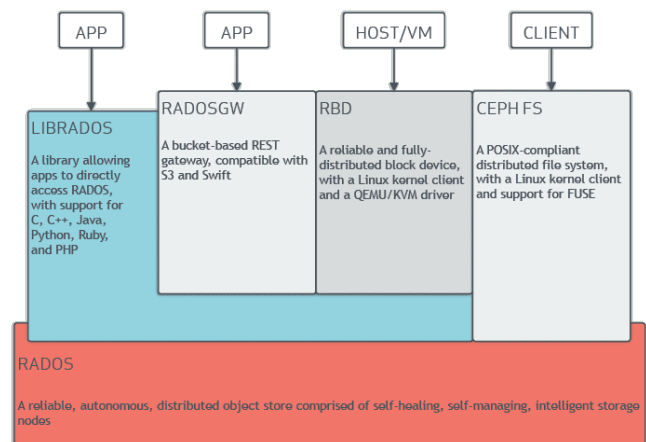


Figura 4. The Ceph stack: architectural overview.

4. Conclusioni

Il lavoro ha illustrato le scelte progettuali adottate per la realizzazione dell'infrastruttura informatica dell'istituto ISTI del CNR, collocandole nel più ampio quadro dell'evoluzione tecnologica e delle specificità operative proprie del contesto della ricerca scientifica. Dall'analisi condotta emerge con chiarezza come controllo, riproducibilità e agilità costituiscano requisiti imprescindibili per sostenere efficacemente le attività di ricerca.

La scelta di un modello Infrastructure as a Service (IaaS) si configura, alla luce di tali esigenze, come una soluzione equilibrata, strategica e coerente con la natura dinamica e iterativa della ricerca scientifica. Essa consente di coniugare la disponibilità di servizi infrastrutturali affidabili e scalabili con un elevato grado di autonomia operativa, preservando la libertà di configurazione e sperimentazione tipica del lavoro di ricerca. Attraverso l'accesso a risorse virtualizzate di base – server, storage, rete e sistemi operativi – i ricercatori possono costruire ambienti personalizzati, riproducibili e adattabili, favorendo al contempo la collaborazione internazionale e la gestione di carichi computazionali intensivi.

In un contesto di ricerca, la scelta di software open source è giustificata dalla trasparenza e riproducibilità dei risultati, dalla flessibilità e personalizzazione, nonché dalla sostenibilità economica. Inoltre, consente un maggiore controllo sulla data residency, permettendo di gestire e conservare i dati in specifiche aree geografiche, nel rispetto delle normative vigenti e dei requisiti di sicurezza.

Riferimenti bibliografici

- [1] Stephen Bonner, Carl Pulley, Ibad Kureshi, Violeta Holmes, John Brennan, and Yvonne James. Using openstack to improve student experience in an h.e. environment. *2013 Science and Information Conference*, pages 888–893, 2013.
- [2] Charalampos Gavriil Kominos, Nicolas Seyvet, and Konstantinos Vandikas. Bare-metal, virtual machines and containers in openstack. In *2017 20th Conference on Innovations in Clouds, Internet and Networks (ICIN)*, pages 36–43, 2017.
- [3] Nikhil Wagh, Vikul Pawar, and Kailash Kharat. Implementation of stable private cloud using openstack with virtual machine results. *J. Comput. Eng. Technol*, 10:258–269, 2019.
- [4] Maryam Abbasi, Filipe Cardoso, José Silva, and Pedro Martins. Exploring openstack for scalable and cost-effective virtualization in education. In Daniel H. de la Iglesia, Juan F. de Paz Santana, and Alfonso J. López Rivero, editors, *New Trends in Disruptive Technologies, Tech Ethics and Artificial Intelligence*, pages 135–146, Cham, 2023. Springer Nature Switzerland.
- [5] Sage A. Weil, Scott A. Brandt, Ethan L. Miller, and Carlos Maltzahn. Crush: Controlled, scalable, decentralized pla-

cement of replicated data. In *SC '06: Proceedings of the 2006 ACM/IEEE Conference on Supercomputing*, pages 31–31, 2006.

- [6] Sage A. Weil, Andrew W. Leung, Scott A. Brandt, and Carlos Maltzahn. Rados: a scalable, reliable storage service for petabyte-scale storage clusters. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Petascale Data Storage: Held in Conjunction with Supercomputing '07, PDSW '07*, page 35–44, New York, NY, USA, 2007. Association for Computing Machinery.