



# Luca Cabibbo Architettura dei Sistemi Software

## Cloud Computing

**dispensa asw640**  
ottobre 2023

*There was a time when every household, town, farm or village had its own water well. Today, shared public utilities give us access to clean water by simply turning on the tap; cloud computing works in a similar fashion.*

Vivek Kundra  
Luca Cabibbo ASW

1

Cloud Computing



### - Riferimenti

- ❑ Luca Cabibbo. **Architettura del Software: Strutture e Qualità**. Edizioni Efestò, 2021.
  - Capitolo 37, **Cloud Computing**
- ❑ National Institute of Standards and Technology. **The NIST Definition of Cloud Computing**. NIST SP 800-145, 2011.
- ❑ Bass, L., Weber, I., and Zhu, L. **DevOps: A Software Architect's Perspective**. Addison-Wesley, 2015.
- ❑ Armbrust, M. et al. **Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing**. T.R. EECS-2009-28, EECS Department, University of California, Berkeley, 2009.
- ❑ Siti web di diversi fornitori di servizi cloud

2

Cloud Computing

Luca Cabibbo ASW



## - Obiettivi e argomenti

### □ Obiettivi

- introdurre il cloud computing
- discutere alcuni aspetti tecnici, architetturali ed economici del cloud computing
- discutere il cloud come piattaforma per il rilascio del software

### □ Argomenti

- introduzione al cloud computing
- esempi di servizi nel cloud
- cloud computing
- architettura del cloud
- economia del cloud computing
- sistemi software per il cloud
- discussione

3

Cloud Computing

Luca Cabibbo ASW



## \* Introduzione al cloud computing

- Il cloud computing ha l'obiettivo di fornire il computing (risorse computazionali) come un servizio di utilità



4

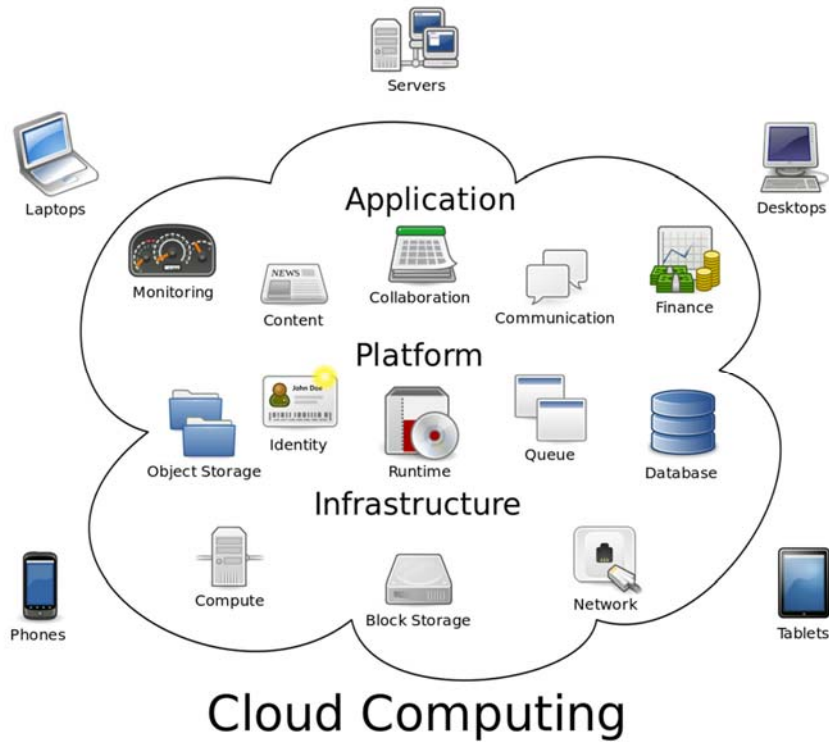
Cloud Computing

Luca Cabibbo ASW



# Introduzione al cloud computing

- Il cloud computing ha l'obiettivo di fornire il computing (risorse computazionali) come un servizio di utilità



5

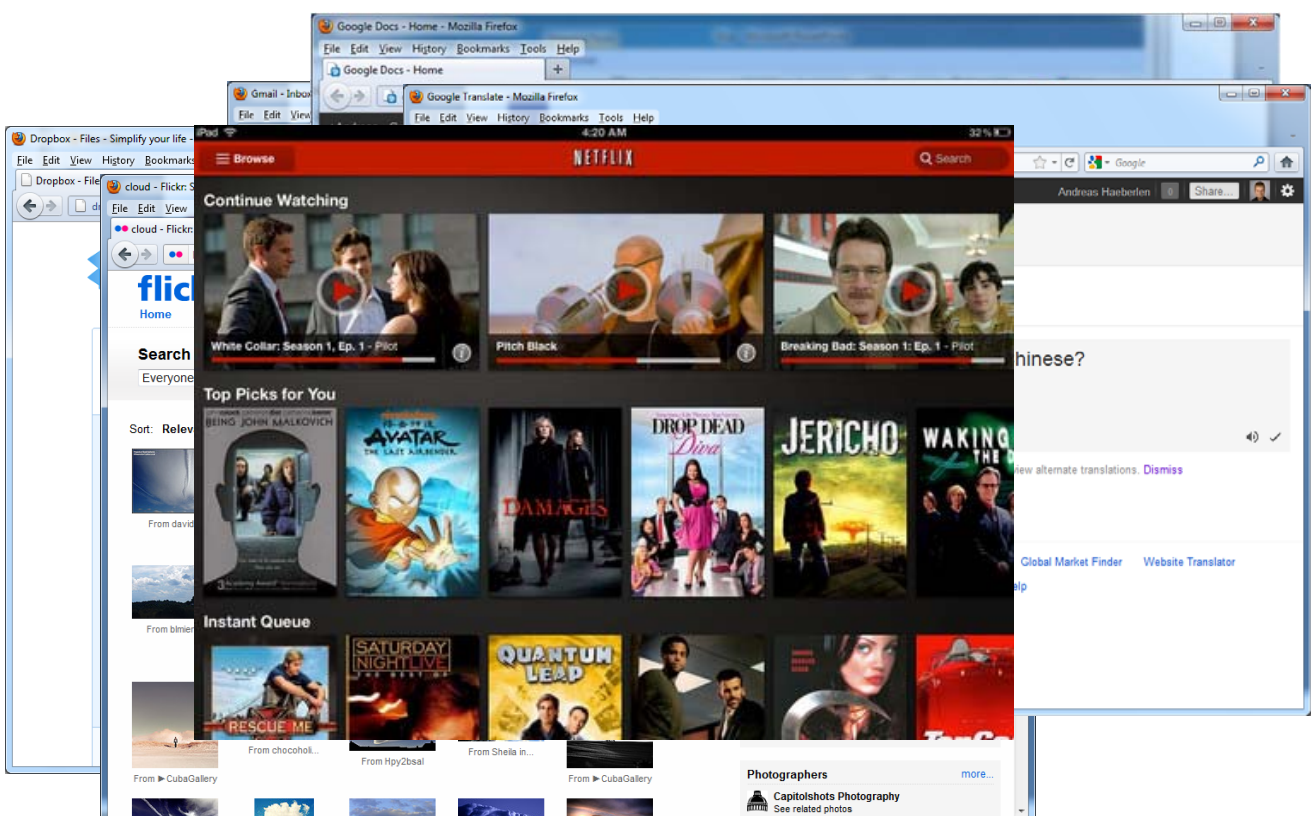
Cloud Computing

Luca Cabibbo ASW



# Cloud computing

- Avete mai usato il cloud computing prima di ora?



6

Cloud Computing

Luca Cabibbo ASW



## Software per il cloud

- Oggi è sempre più comune rilasciare i propri sistemi software nel cloud – o in data center gestiti come cloud privati
  - è pertanto importante comprendere
    - che cos'è il cloud computing
    - il cloud come piattaforma per il rilascio del software
    - l'architettura dei sistemi software nel cloud
  - in contrapposizione, il rilascio di un sistema software in un proprio data center è detto *on premises*



## Una definizione di cloud computing

- Il *cloud computing* è [NIST]
  - un modello di elaborazione
  - che abilita un accesso in rete, su richiesta, ubiquo e conveniente
  - a un pool di risorse di calcolo (CPU, storage, reti, sistemi operativi, servizi e/o applicazioni) condivise e configurabili
  - che possono essere acquisite e rilasciate rapidamente e in modo dinamico
  - con uno sforzo di gestione minimo, o comunque con un'interazione minima con il fornitore del servizio



## Modelli di servizio

- Tre *modelli di servizio* principali
  - *Software as a Service – SaaS*
    - applicazioni software
  - *Platform as a Service – PaaS*
    - piattaforme per lo sviluppo e l'esecuzione di applicazioni
  - *Infrastructure as a Service – IaaS*
    - servizi infrastrutturali – come server (CPU e sistemi operativi), storage e connettività

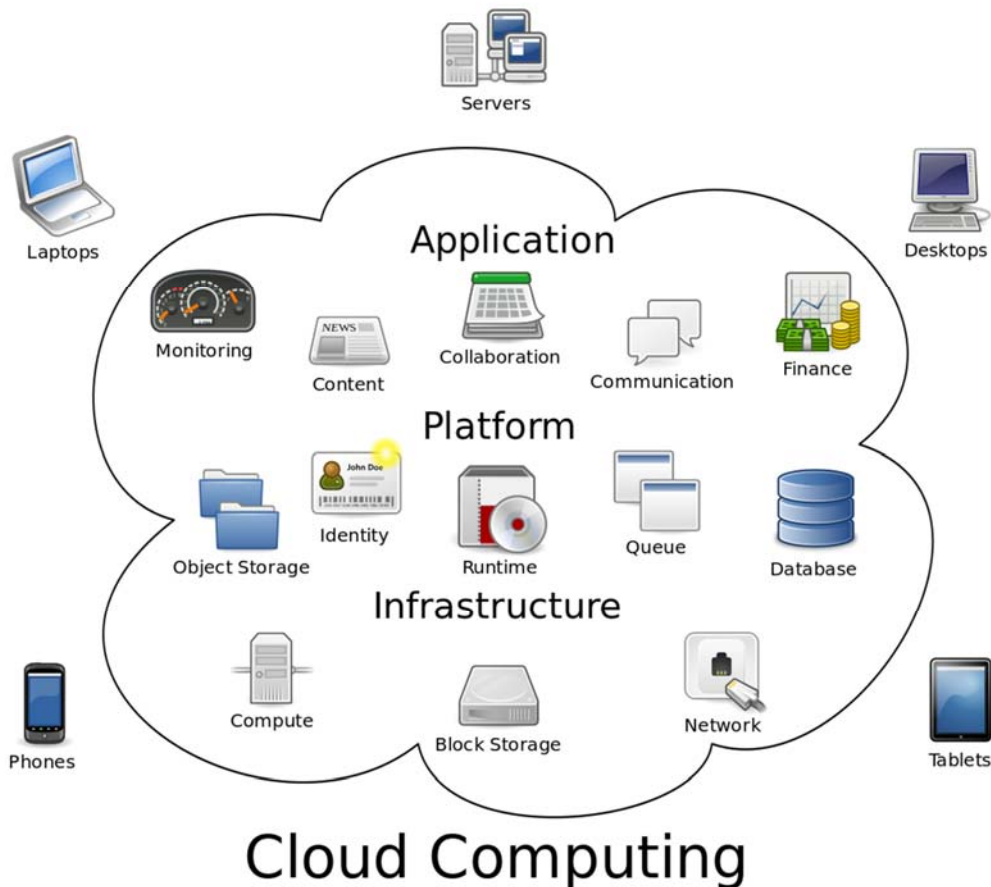


## Modelli di servizio

- Alcuni esempi
  - Software as a Service – SaaS
    - Google Workspace (Gmail, Google Docs, Google Drive, ...)
    - Microsoft Office 365
    - Netflix
    - le applicazioni di Salesforce.com (ad es., CRM)
  - Platform as a Service – PaaS
    - Google Cloud App Engine
    - Amazon Elastic Beanstalk
    - Microsoft Azure App Service
  - Infrastructure as a Service – IaaS
    - molti prodotti/servizi di Amazon Web Services (AWS) – tra cui Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) e Amazon Simple Storage Service (S3)



# Cloud computing e servizi



11

Cloud Computing

Luca Cabibbo ASW



## Infrastrutture di cloud computing

- ▣ Le risorse di calcolo offerte nel cloud computing risiedono fisicamente nelle infrastrutture di cloud computing, gestite da fornitori di servizi cloud
  - un'**infrastruttura di cloud computing** (o semplicemente **cloud**) comprende l'insieme degli elementi hardware e software necessari per abilitare il cloud computing
    - un insieme di risorse hardware fisiche – con server, storage, reti
    - un insieme di strumenti software – software di virtualizzazione, di gestione e di automazione degli ambienti – per offrire le risorse hardware fisiche come risorse computazionali virtuali
      - ed eventuale software di piattaforma e applicativo
    - un'interfaccia di programmazione (API) – tramite cui gli utenti possono accedere alle risorse di calcolo e ai servizi di cloud computing

12

Cloud Computing

Luca Cabibbo ASW



# Cloud computing e servizi

- Nel cloud, per **servizio** si intende
  - è una ben precisa entità computazionale
  - è gestito da un'organizzazione – il **fornitore** del servizio
  - può essere acceduto mediante Internet – da un client che è l'**utente** (o **consumatore**) del servizio
  - è incapsulato – ha un'interfaccia definita contrattualmente, e la sua implementazione è trasparente agli utenti



## \* Esempi di servizi nel cloud

- Presentiamo ora alcuni esempi di servizi di cloud computing

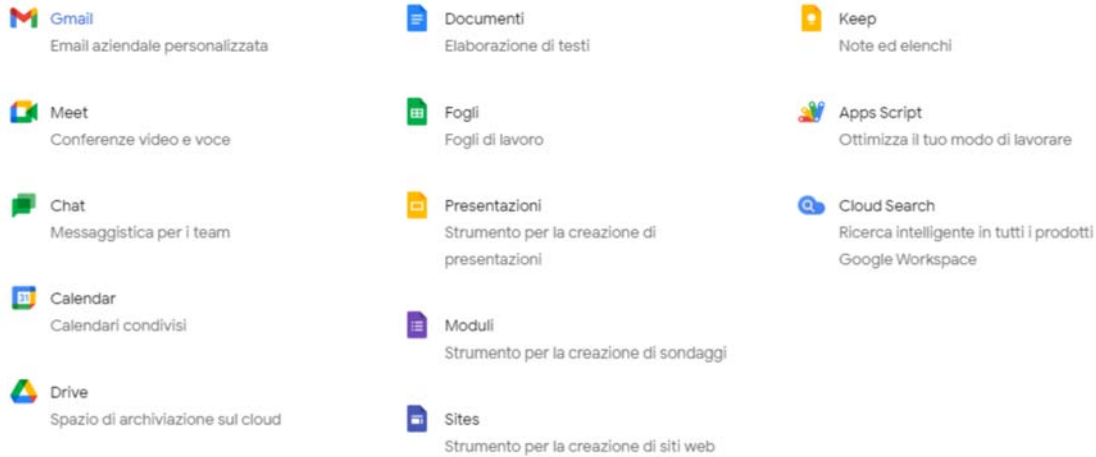




## - Google Workspace

### □ *Google Workspace* (SaaS)

- “un’unica suite di prodotti con tutti i migliori strumenti”
- “tutto ciò che ti serve per lavorare al meglio in unico pacchetto che funziona alla perfezione su PC, smartphone o tablet”



- con versioni per le aziende, le scuole, le pubbliche amministrazioni, ...



## - Google App Engine



### □ *Google App Engine* (*GAE*) (PaaS)

- “crea applicazioni a elevata scalabilità su una piattaforma serverless completamente gestita”
- per applicazioni web dinamiche – realizzate con Java, PHP, Node.js, Python, C#, Ruby, Go, ...
- basta aggiungere il codice – poi saranno eseguite nel cloud di Google
- caratteristiche
  - scalabilità e bilanciamento del carico automatici
  - autenticazione e sicurezza (sandboxing)
  - amministrazione semplificata
  - inizialmente gratuito – poi paghi solo quello che usi





## Amazon Web Services (AWS) (IaaS e PaaS)

- “AWS offre servizi di elaborazione, storage di database, distribuzione di contenuti e altre funzionalità, ideali per aiutarti a creare applicazioni sofisticate in modo flessibile, scalabile e affidabile”
- “per realizzare qualunque applicazione – indipendentemente dal dominio di business”
- “per salvare tempo e denaro – senza compromettere scalabilità o sicurezza”
- AWS offre sia servizi IaaS che PaaS



## Categorie di servizi di Amazon AWS

<b>Analisi</b>	<b>Integrazione di applicazioni</b>	<b>Realtà aumentata e realtà virtuale</b>	<b>Gestione costi AWS</b>	<b>Blockchain</b>
<b>Applicazioni aziendali</b>	<b>Calcolo</b>	<b>Coinvolgimento dei clienti</b>	<b>Database</b>	<b>Strumenti per sviluppatori</b>
<b>Elaborazione degli utenti finali</b>	<b>Game Tech</b>	<b>Internet of Things</b>	<b>Machine learning</b>	<b>Gestione e governance</b>
<b>Servizi multimediali</b>	<b>Migrazione e trasferimento</b>	<b>Dispositivi mobili</b>	<b>Reti e distribuzione di contenuti</b>	<b>Tecnologie quantum</b>
<b>Robotica</b>	<b>Satellite</b>	<b>Sicurezza, identità e conformità</b>	<b>Storage</b>	<b>Scopri tutti i prodotti</b>



## □ Alcuni servizi di Amazon AWS

- servizi infrastrutturali (IaaS)
  - risorse di calcolo – Amazon EC2 (macchine virtuali), Elastic Container Service e Kubernetes Service (container)
  - storage – Amazon S3 e EBS
  - basi di dati – Amazon RDS e DynamoDB
  - reti – Amazon Virtual Private Cloud e Elastic Load Balancing
- servizi di piattaforma (PaaS) e servizi applicativi
  - applicazioni web scalabili – AWS Elastic Beanstalk e Lambda (serverless)
  - messaging e publish-subscribe – Amazon SQS e SNS
  - per sviluppatori (Dev) e operatori (Ops) – AWS CodeCommit, CodeDeploy e CodePipeline
- ma anche servizi di analisi, blockchain, Internet of Things, Machine Learning, Sicurezza e identità, ...



# Amazon EC2

## □ *Amazon Elastic Compute Cloud (EC2)* (IaaS)

- capacità di calcolo (macchine virtuali) nel cloud – Amazon Machine Instance (AMI)
  - diversi tipi di AMI predefinite – da 1 a 192 vCPU a 64 bit (ad es., Intel Xeon), da 0.5GB a 768 GB RAM, storage EBS (HD o SSD, fino a 8x3.75TB SSD) – e anche istanze Bare Metal
  - le AMI possono essere preconfigurate con una varietà di sistemi operativi (ad es., Linux o Windows) e di software (ad es., IBM DB2 oppure Oracle Database)
- nelle AMI acquisite è possibile installare il software che si vuole – comprese le proprie applicazioni
- è possibile acquisire più AMI – in diverse regioni e zone di disponibilità (discusse dopo) – e collegarle in rete
- si integra con la maggior parte dei servizi di AWS



## Amazon S3

- **Amazon Simple Storage Service (S3)** (IaaS)
  - storage di file nel cloud
  - con una semplice interfaccia web (REST e SOAP) per memorizzare e ritrovare i propri dati
  - i dati sono “oggetti” persistenti – da 1 byte a 5 GB
    - oggetti “opachi” – con una chiave univoca
    - operazioni CRUD – su un numero qualunque di oggetti
    - memorizzati in Europa o negli Stati Uniti
  - supporto per diverse qualità
    - sicurezza – autenticazione, oggetti privati e pubblici, ACL
    - diversi livelli di affidabilità
  - può essere utilizzato come meccanismo di storage per EC2



## Amazon EBS

- **Amazon Elastic Block Storage (EBS)** (IaaS)
  - storage a blocchi
  - un'istanza EBS è un volume – composto da blocchi – che può essere montato su un'istanza EC2
    - un volume può essere usato come un qualunque hard disk – con capacità da 0.5GB a diversi TB
  - supporto per diverse qualità
    - diversi livelli per prestazioni e affidabilità
    - selezione della zona in cui è allocata l'istanza



# Amazon RDS e DynamoDB

- ❑ **Amazon Relational Database Service (RDS)** (IaaS)
  - database relazionali nel cloud
  - consente l'accesso, con tutte le funzionalità, a database relazionali come MySQL, Oracle, PostgreSQL o Amazon Aurora
- ❑ **Amazon DynamoDB** (IaaS)
  - un datastore NoSQL – ovvero, database non relazionale
  - un servizio con prestazioni alte e prevedibili, scalabile e affidabile



# Discussione sui servizi IaaS di AWS

- ❑ I servizi infrastrutturali di AWS possono essere utilizzati in modo integrato per realizzare ambienti di esecuzione, anche complessi, in cui rilasciare le proprie applicazioni
  - il provisioning di queste risorse di calcolo può essere effettuato
    - in modo interattivo, mediante un'interfaccia web
    - in modo automatizzato, mediante l'uso di script e di ulteriori servizi AWS di supporto al provisioning di ambienti e al rilascio del software – o anche mediante l'uso di strumenti di terze parti
  - sono possibili ambienti di esecuzioni multipli
  - si paga per l'uso, senza spese iniziali
  - è “promessa” una disponibilità (uptime mensile) del 99.99%
    - ci sono degli sconti se la disponibilità in un periodo scende sotto il 99.99% (10% di sconto) o sotto il 99.0% (30%)



# Amazon Elastic Beanstalk

- ❑ **Amazon Elastic Beanstalk** (PaaS)
  - piattaforma scalabile per applicazioni web
  - “AWS Elastic Beanstalk è un servizio di semplice utilizzo per distribuire e ridimensionare applicazioni e servizi Web sviluppati con Java, .NET, PHP, Node.js, Python, Ruby, Go e Docker su server comuni come Apache, Nginx, Passenger e IIS”
  - “caricando semplicemente il proprio codice, Elastic Beanstalk gestisce automaticamente l’implementazione, da provisioning di capacità e auto scaling al monitoraggio della salute dell’applicazione”
  - “non vi è alcun costo aggiuntivo per Elastic Beanstalk: si paga solo per le risorse AWS necessarie per archiviare ed eseguire le proprie applicazioni”



# Amazon ECS e EKS

- ❑ **Amazon Elastic Container Service (ECS)** (IaaS/PaaS)
  - un servizio altamente scalabile per container
  - “Amazon Elastic Container Service (Amazon ECS) è un servizio di orchestrazione dei container completamente gestito”
  - consente di eseguire, in modo semplice, applicazioni a container in un cluster – gestito mediante un insieme di nodi Amazon EC2
  - un servizio (in parte di piattaforma, in parte infrastrutturale) che evita di dover gestire (installare e dimensionare) un’infrastruttura per la gestione di un cluster per container
- ❑ **Amazon Elastic Kubernetes Service (EKS)** (IaaS/PaaS)
  - un altro servizio gestito di orchestrazione per container, basato su Kubernetes



# AWS Lambda

- **AWS Lambda** (PaaS)
  - un servizio di elaborazione serverless (“senza server”) – ovvero, “completamente gestito”
  - “AWS Lambda è un servizio di elaborazione serverless che ti permette di eseguire il codice senza effettuare il provisioning o gestire i server”
  - consente di eseguire del codice applicativo (funzioni Lambda) in risposta a determinati eventi – ad es., richieste HTTP tramite Amazon API Gateway, modifiche a oggetti S3 o aggiornamento di tabelle DynamoDB
    - AWS Lambda si occupa di gestire automaticamente le risorse di calcolo necessarie per eseguire queste funzioni
  - “con Lambda, puoi eseguire codice per qualsiasi tipo di applicazione o servizio di back-end” – “è possibile scrivere le funzioni Lambda nel linguaggio che preferisci” – “è sufficiente caricare il codice”

27

Cloud Computing

Luca Cabibbo ASW



## Discussione sui servizi PaaS di AWS

- I servizi di piattaforma di AWS consentono lo sviluppo e il rilascio di applicazioni basate su un’architettura software standardizzata in ambienti di esecuzione standardizzati (predefiniti) scalabili
  - quando viene rilasciata un’applicazione in un servizio PaaS, viene creato (automaticamente e in modo trasparente, e poi fatto evolvere) un ambiente di esecuzione per l’applicazione – realizzato come un insieme di risorse IaaS
  - i servizi IaaS e PaaS forniscono astrazioni a livelli differenti
    - i servizi PaaS sono implementati automaticamente mediante l’utilizzo e la composizione di servizi IaaS
  - implicazioni nell’utilizzo dei servizi PaaS (rispetto a IaaS) nella realizzazione di un’applicazione software
    - maggior focalizzazione sulle funzionalità dell’applicazione
    - cessione del controllo sull’architettura e sull’ambiente di esecuzione

28

Cloud Computing

Luca Cabibbo ASW



## AWS e DevOps

- AWS fornisce anche un insieme di servizi per creare e rilasciare il software in modo rapido e affidabile nel cloud AWS tramite pratiche DevOps – ad esempio
  - provisioning e gestione dell'infrastruttura
  - gestione del codice delle applicazioni
  - automatizzazione del rilascio del software
  - monitoraggio

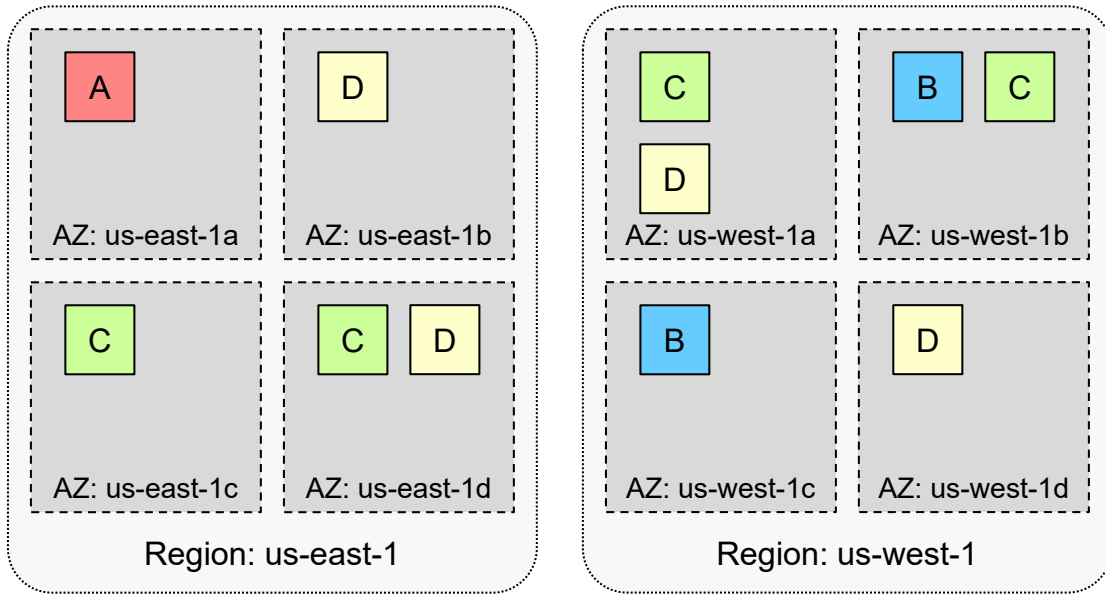


## Regioni e zone di disponibilità

- Il cloud AWS opera in più di 102 zone di disponibilità distribuite su oltre 32 regioni geografiche in tutto il mondo
  - una **regione** è un luogo geografico in cui sono raggruppati i data center di AWS
    - ad es., EU (Ireland) (eu-west-1) e US East (Ohio) (us-east-2)
    - ogni regione è partizionata in zone di disponibilità
  - una **zona di disponibilità (AZ, availability zone)** è un insieme di uno o più data center provvisti di alimentazione, rete e connettività indipendenti (ridondanti) in una regione AWS
  - le regioni e le zone di disponibilità supportano elevata disponibilità, tolleranza ai guasti e scalabilità



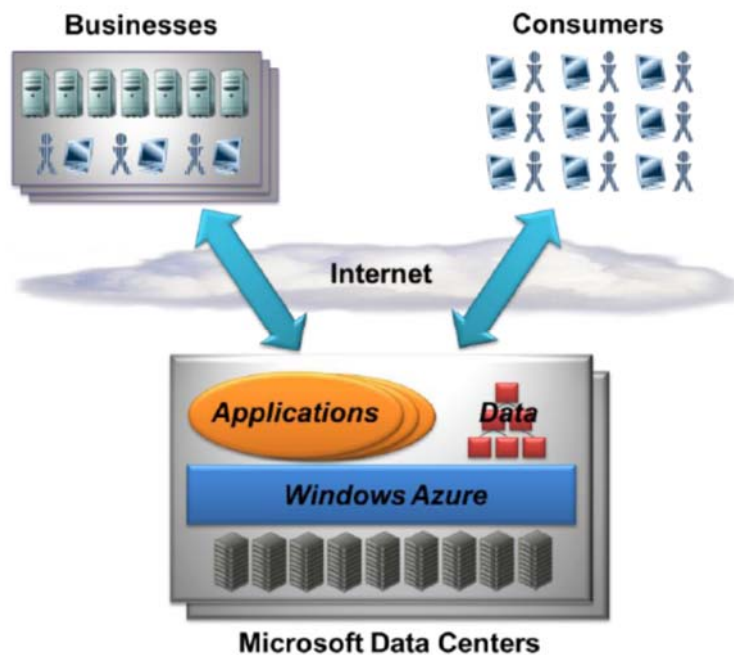
# Regioni e zone di disponibilità



## - Microsoft Azure



- Microsoft Azure
  - una piattaforma per consentire l'uso di risorse nel cloud di Microsoft







## □ *Microsoft Azure*

- i servizi cloud di Microsoft
- “noi ti forniamo gli strumenti – tu puoi cambiare il mondo”
- “in locale, ibride, per più cloud o nei dispositivi perimetrali – crea soluzioni cloud sicure e pronte per il futuro in Azure”
- un'altra piattaforma cloud generica e flessibile
  - fornisce la versione cloud di molte soluzioni proprietarie Microsoft
  - fornisce oggi anche numerose soluzioni “aperte” e non necessariamente legate al mondo Microsoft – ad es., macchine virtuali Linux e orchestrazione di container Docker



## □ Alcune tecnologie di Microsoft Azure

- Virtual Machines – macchine virtuali Windows oppure Linux – per l'esecuzione di applicazioni e la memorizzazione di dati nei computer dei data center della Microsoft
- Azure App Service – per lo sviluppo di applicazioni web avanzate, eseguite nel cloud di Microsoft, in una piattaforma completamente gestita
- Azure SQL Database – un gestore di database relazionali, basato su SQL Server
- Azure Kubernetes Service (AKS) – servizi infrastrutturali per l'orchestrazione di container
- Azure Functions – elaborazione di eventi con codice serverless
- Visual Studio – ambiente flessibile per lo sviluppo di applicazioni per il cloud



## Alcuni data center del cloud di Microsoft (in espansione)

- a Dublino, un data center tradizionale – 38500 m<sup>2</sup> (2013)
- a Chicago, un data center basato su container (2010) – 112 container, 1800-2500 server per container, 65000 m<sup>2</sup> (pari a 9 campi di calcio)



## Salesforce.com

- “con il cloud computing non è più necessario installare alcun software o hardware – otterrai un’operatività immediata e i primi risultati positivi in tempi molto più brevi”
- “leader nel mercato delle applicazioni SaaS – tutto ciò che ti serve per gestire la tua attività sul cloud”
  - applicazioni (personalizzabili), ad es., per la vendita, l’assistenza clienti e la collaborazione
  - accessibili su internet – sia da PC che da smartphone o tablet
- anche piattaforma per lo sviluppo di applicazioni personalizzate (PaaS)





## - Cloud Foundry



### □ *Cloud Foundry* ([www.cloudfoundry.org](http://www.cloudfoundry.org))

- è una piattaforma (PaaS) open source di cloud computing
- rende più facile e più veloce costruire, testare, rilasciare e scalare applicazioni – offrendo la scelta tra diversi cloud, framework di sviluppo e servizi applicativi
- è un progetto open source, che è disponibile in una varietà di distribuzioni cloud private e istanze di cloud pubblici
- in pratica, ha un'architettura basata su container
  - in cui è possibile eseguire applicazioni in qualunque linguaggio di programmazione
  - che possono essere rilasciati in qualunque cloud, pubblico o privato – è anche possibile spostare i container tra cloud, senza modificare le applicazioni



## - Netflix

**NETFLIX**



### □ *Netflix* (SaaS)

- un'applicazione software per la distribuzione via Internet di film, serie televisive e altri contenuti d'intrattenimento
  - un'applicazione a microservizi rilasciata in container nel cloud di Amazon
- in pratica, l'azienda Netflix Inc.
  - è il fornitore del servizio SaaS Netflix
  - è un consumatore di servizi cloud di Amazon AWS



## \* Cloud computing

- Il *cloud computing* è [NIST]
  - un modello di elaborazione
  - che abilita un accesso in rete, su richiesta, ubiquo e conveniente
  - a un pool di risorse di calcolo (CPU, storage, reti, sistemi operativi, servizi e/o applicazioni) condivise e configurabili
  - che possono essere acquisite e rilasciate rapidamente e in modo dinamico
  - con uno sforzo di gestione minimo, o comunque con un'interazione minima con il fornitore del servizio
  
- Inoltre, questo modello di elaborazione prevede cinque caratteristiche essenziali, tre modelli di servizio e quattro modelli di deployment



## - Caratteristiche essenziali

- Cinque *caratteristiche essenziali* per il cloud computing
  - **servizi su richiesta**
    - un consumatore può acquisire risorse di calcolo in modo unilaterale e automatico
  - **accesso in rete**
    - le risorse di calcolo sono accessibili in Internet
  - **pooling di risorse**
    - le risorse di calcolo di un fornitore sono riunite per servire molti consumatori, secondo un modello multi-tenant
  - **elasticità rapida**
    - le risorse di calcolo possono essere ottenute (e poi rilasciate) in modo rapido ed elastico
  - **misura dei servizi**
    - l'uso delle risorse è controllato in modo automatico, sulla base di misure appropriate



## - Modelli di servizio

- Il cloud computing prevede tre *modelli di servizio*
  - **Software as a Service – SaaS**
    - il servizio è un'applicazione in esecuzione nel cloud – il consumatore è un utente finale dell'applicazione – il fornitore è chi l'ha realizzata
  - **Platform as a Service – PaaS**
    - il servizio è una piattaforma – il consumatore è uno sviluppatore di applicazioni per la piattaforma – il fornitore è chi gestisce la piattaforma
  - **Infrastructure as a Service – IaaS**
    - il servizio è relativo a risorse computazionali infrastrutturali virtuali – il consumatore è un operatore (Ops) per un ambiente virtuale – il fornitore è chi gestisce l'infrastruttura

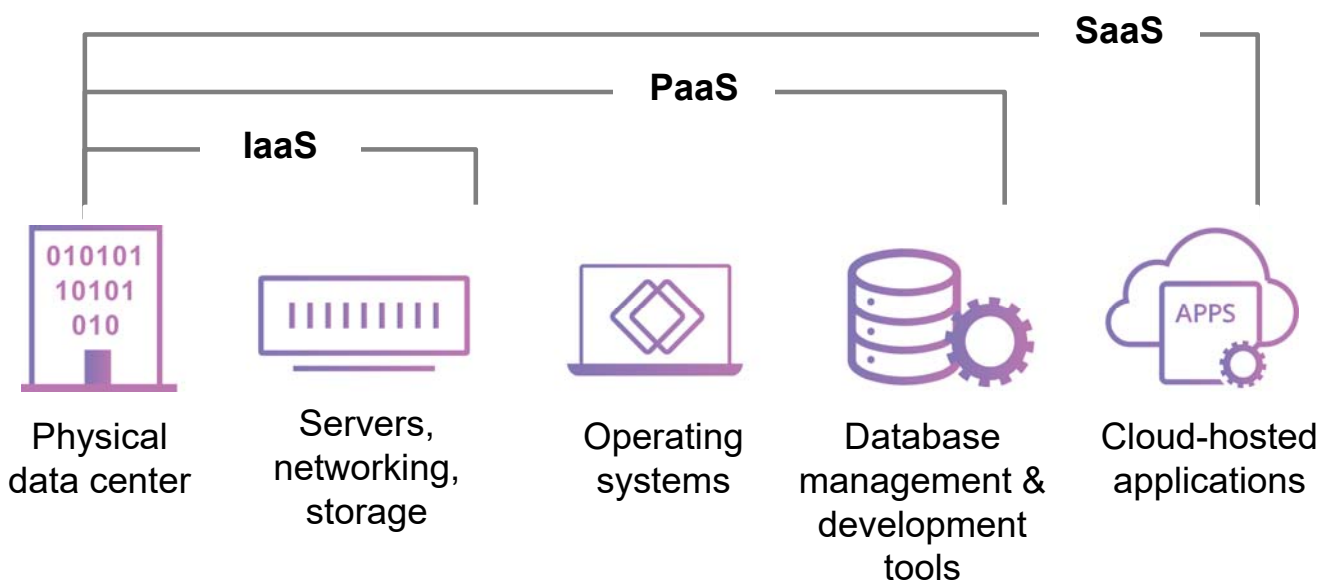
41

Cloud Computing

Luca Cabibbo ASW



## Il modello SPI



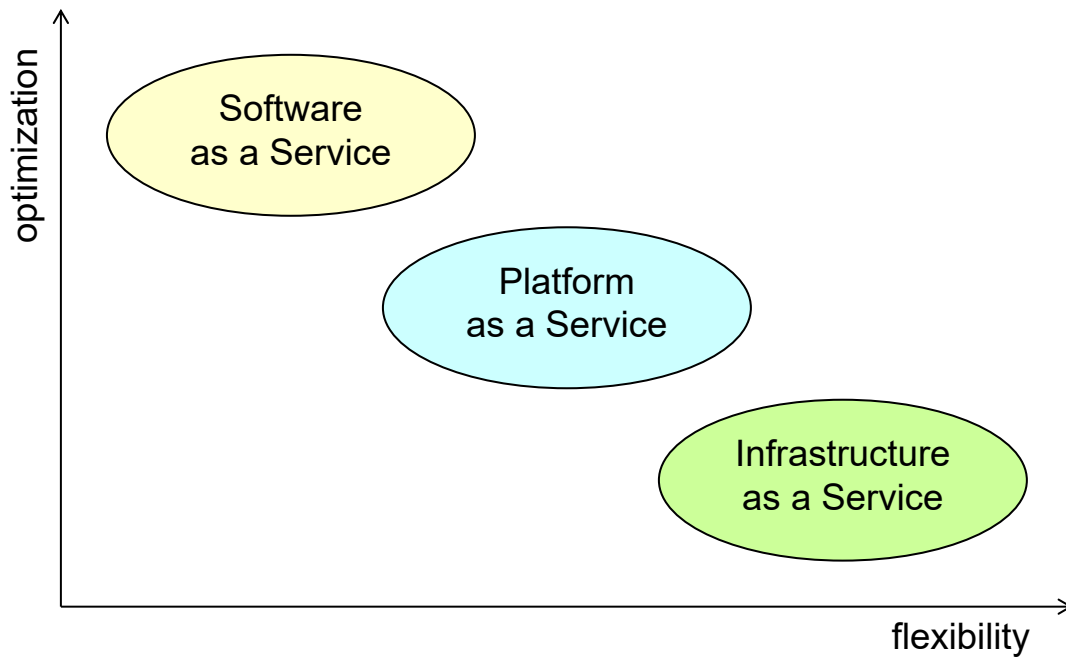
42

Cloud Computing

Luca Cabibbo ASW



# Il modello SPI



## - Modelli di deployment

- Il cloud computing prevede quattro *modelli di deployment*
  - **public cloud**
    - l'infrastruttura di cloud computing è resa disponibile al pubblico
  - **private cloud**
    - l'infrastruttura di cloud è gestita per una singola organizzazione
  - **hybrid cloud**
    - l'infrastruttura di cloud è la composizione di due o più cloud
  - **community cloud**
    - l'infrastruttura di cloud è condivisa da più organizzazioni





## - Alcune definizioni alternative



- ❑ Alcune definizioni alternative del cloud computing
- ❑ Il *cloud computing* è [Vaquero]
  - un grande insieme di risorse (come hardware, piattaforme di sviluppo e/o servizi)
    - che sono virtualizzate
    - e sono facilmente accessibili e usabili
  - queste risorse
    - possono essere dinamicamente riconfigurate – per adattarle a un carico variabile (sono scalabili) – favorendo un utilizzo ottimale delle risorse
    - sono tipicamente utilizzate sulla base di un modello di pagamento a consumo
    - sono dotate di garanzie – sulla base di SLA personalizzate – offerte dal loro fornitore



## Alcune definizioni alternative



- ❑ Alcune definizioni alternative del cloud computing
- ❑ Il *cloud computing* [Armbrust et al.]
  - si riferisce sia alle applicazioni erogate come servizi in Internet che all'hardware e al software nei data center che forniscono questi servizi
    - il termine *cloud* indica l'hardware e il software presente in questi data center
    - *Software as a Service (SaaS)* indica le applicazioni erogate da una cloud
    - *utility computing* indica l'insieme di servizi erogati da una cloud e resi disponibili al pubblico con modalità di pagamento a consumo
  - il *cloud computing* è dato dall'unione di *SaaS* e *utility computing*



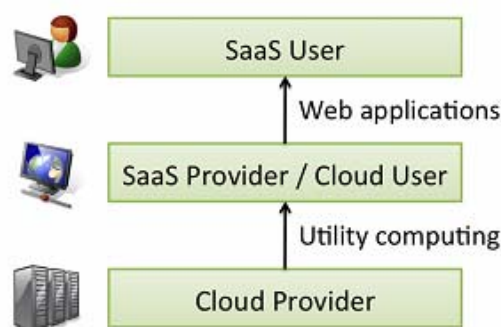
## - Ulteriori considerazioni

- Cloud vuol dire “nuvola”
  - così come nel cielo ci sono diversi tipi di nuvole – così ci sono diversi tipi di servizi e funzionalità offerti nel cloud
  - la realizzazione interna di questi servizi è opaca
  - i confini tra servizi diversi sono spesso sfumati
  - le nuvole si possono sovrapporre
  - le nuvole possono cambiare dinamicamente di forma



## Attori in gioco

- Un'organizzazione o una persona può svolgere uno (o più) dei seguenti ruoli
  - *cloud provider* – fornitore di utility computing (IaaS o PaaS)
  - *cloud user* – utente (consumatore) di utility computing (IaaS o PaaS)
  - *SaaS provider* – fornitore di un'applicazione SaaS
    - un SaaS provider potrebbe anche essere un cloud user
  - *SaaS user* – utente (consumatore) di un'applicazione SaaS







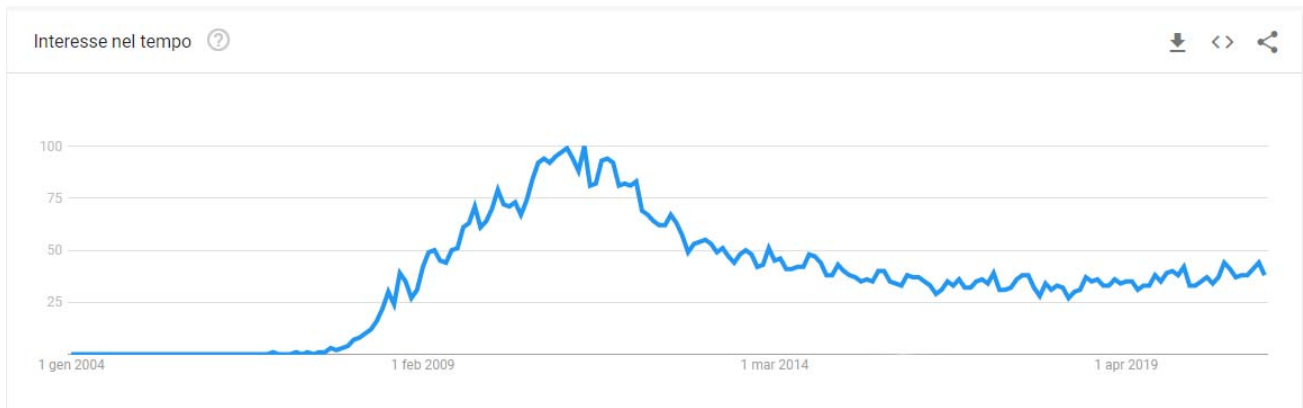
## Attori in gioco

- Come esempio, consideriamo Mario Rossi, che è un client del servizio Netflix – il quale è realizzato dalla Netflix Inc. e rilasciato nel cloud di Amazon
  - Netflix è un servizio SaaS
  - Mario Rossi è un utente (consumatore) del servizio Netflix (SaaS user)
  - Netflix Inc. è la società che ha sviluppato il servizio Netflix – dunque Netflix Inc. è il fornitore del servizio Netflix (SaaS provider)
  - Amazon è un fornitore di servizi cloud, di tipo IaaS e PaaS (cloud provider)
  - Netflix Inc. è un consumatore dei servizi cloud IaaS di Amazon (cloud user)



## Campi di applicazione

- Alcuni possibili campi di applicazione del cloud computing
  - applicazioni web
  - estensione di software di tipo desktop – ad es., Matlab e Mathematica
  - applicazioni con necessità momentanee di grandi risorse di calcolo
  - prototipazione
  - startup
  - compiti singoli
  - svolgimento di attività di ricerca



- Amazon è stata la prima azienda a offrire un insieme ricco di servizi nel cloud
  - presenza in Internet molto ampia
  - esperienza nella gestione automatizzata di un data center molto grande – configurato per il carico di picco
  - questa “necessità” viene convertita in un’opportunità – lanciando AWS, nel 2002 – poi il servizio decollerà nel 2007



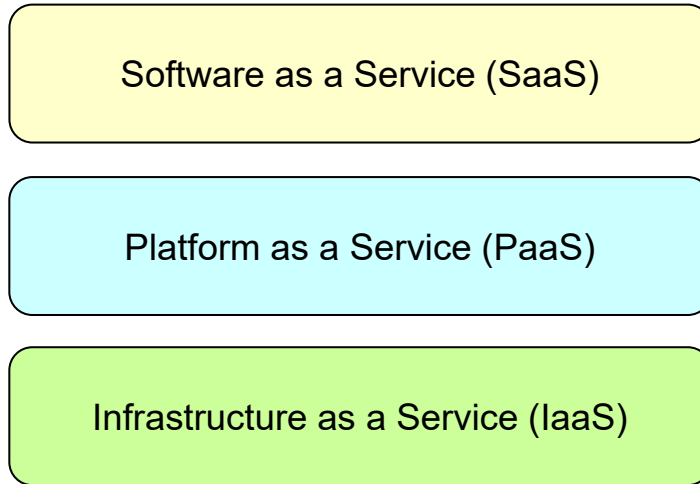
## \* Architettura del cloud

- Un’*infrastruttura di cloud computing* (o semplicemente *cloud*) è l’insieme degli elementi hardware e software necessari per abilitare il cloud computing
  - un insieme di risorse hardware fisiche – con componenti come server, switch di rete, memoria e storage
  - un insieme di strumenti software
    - un software di virtualizzazione – per trasformare le risorse fisiche in risorse computazionali virtuali
    - un insieme di strumenti software di gestione e di automazione degli ambienti e delle risorse
    - eventuale software di piattaforma e software applicativo
    - un’interfaccia di programmazione (API) – che consente agli utenti di accedere alle risorse virtualizzate e ai servizi di cloud computing – mediante un’interfaccia web, REST e/o CLI

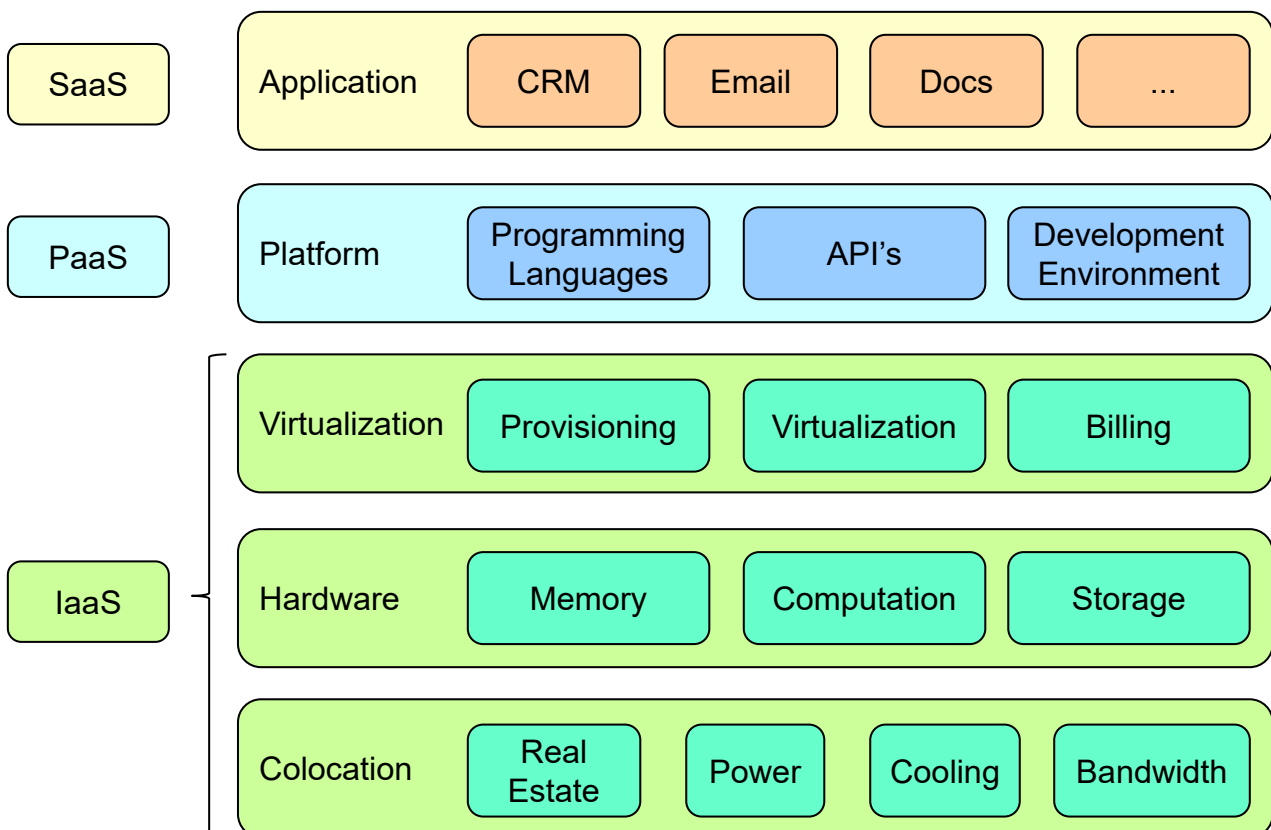


# Architettura del cloud

- È possibile pensare al cloud computing – e ad un’infrastruttura di cloud computing – in termini di un’architettura a strati – facendo riferimento al modello SPI



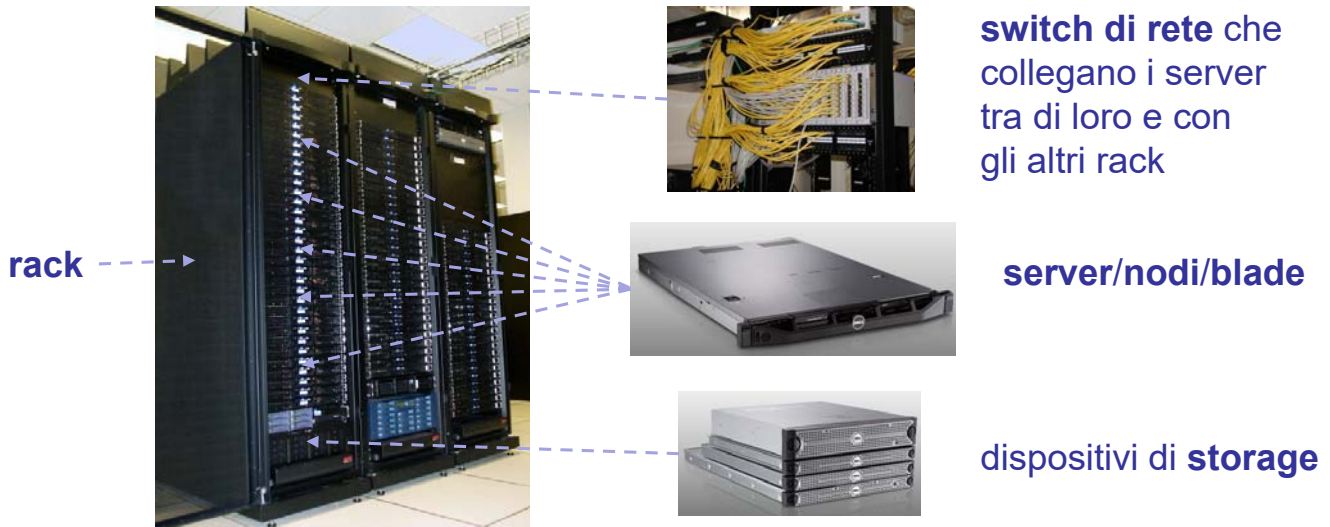
# Architettura del cloud





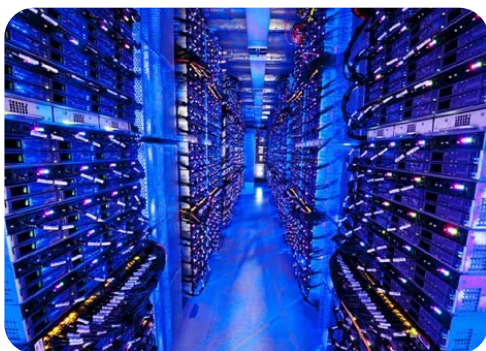
# Tecnologie abilitanti del cloud

## □ Hardware



# Tecnologie abilitanti del cloud

## □ Data center (co-location)



tanti rack in un container

data center

tanti container in un data center



# Tecnologie abilitanti del cloud

## ▣ Altre tecnologie

reti →



energia elettrica ↗

condizionamento ↖



# Tecnologie abilitanti del cloud

## ▣ Tanti data center



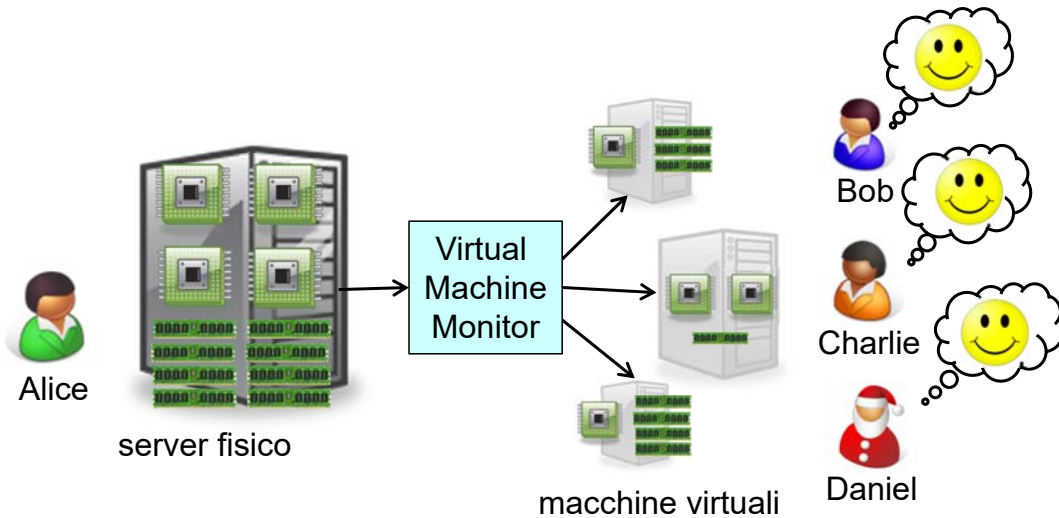
tanti data center  
in un'infrastruttura  
di cloud





# Tecnologie abilitanti del cloud

- Virtualizzazione – e strumenti per la gestione e l'automazione di ambienti virtuali



## - Spunti di riflessione

- Alla luce di quanto studiato finora, discutere come è possibile offrire dei semplici servizi cloud (accessibili mediante un semplice portale web) con le seguenti caratteristiche
  - un semplice servizio di tipo IaaS per macchine virtuali – che consente di scegliere
    - numero di vCPU, quantità di memoria e OS da installare
    - eventuali applicazioni pre-installate sulla VM – da un elenco predefinito – ad es., Tomcat
  - un semplice servizio di tipo PaaS (scalabile, ma senza elasticità) per applicazioni web basate su Tomcat – che consente di scegliere
    - l'unità di rilascio – per semplicità, un singolo file war
    - il numero di server Tomcat in cui eseguire l'applicazione



## \* Economia del cloud computing



- Il cloud computing è una soluzione tecnologica per i suoi potenziali consumatori
  - ma è economicamente conveniente per i consumatori di servizi cloud? e lo è per i fornitori di servizi cloud?
  - quali sono i casi in cui, per un consumatore, il cloud computing è preferibile rispetto alla gestione privata di un proprio data center?



## Economia del cloud computing



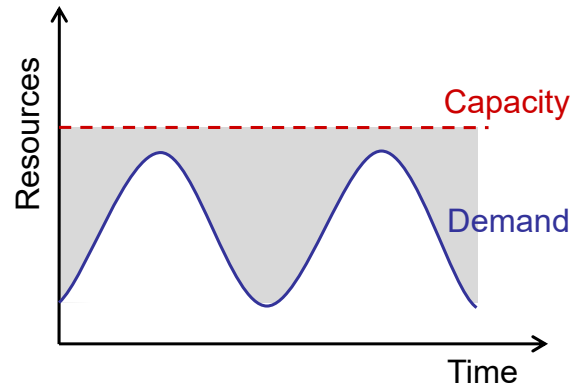
- Punto di vista del consumatore – aspetti da prendere in considerazione in una valutazione economica del cloud computing
  - modello di pagamento a consumo
    - consente il passaggio da un sistema di spesa in conto capitale (CAPEX) a un sistema di spesa corrente (OPEX)
  - elasticità
    - consente di mitigare i rischi legati a un dimensionamento non corretto dell'infrastruttura necessaria
  - economie di scala
    - i fornitori possono offrire prezzi vantaggiosi ai consumatori (e vantaggiosi anche per i fornitori stessi)



# Economia del cc: elasticità



- Dimensionamento dell'infrastruttura – quando la richiesta di risorse varia nel tempo
  - provisioning per il picco del carico



Unused resources

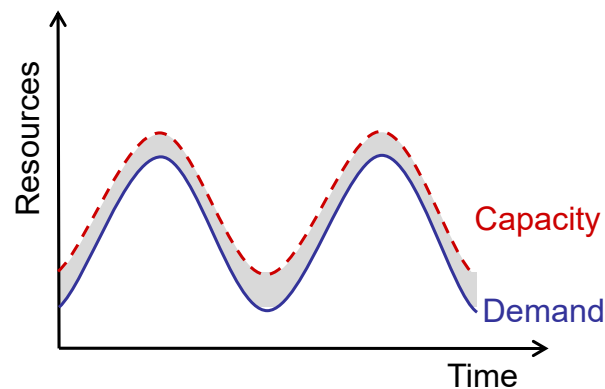
Static data center



# Economia del cc: elasticità



- Dimensionamento dell'infrastruttura – quando la richiesta di risorse varia nel tempo
  - cloud computing ed elasticità



Data center in the cloud

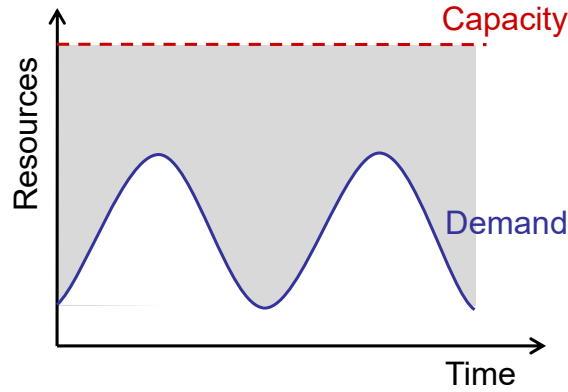




# Economia del cc: elasticità



- Dimensionamento dell'infrastruttura – quando la richiesta di risorse varia nel tempo
  - over-provisioning



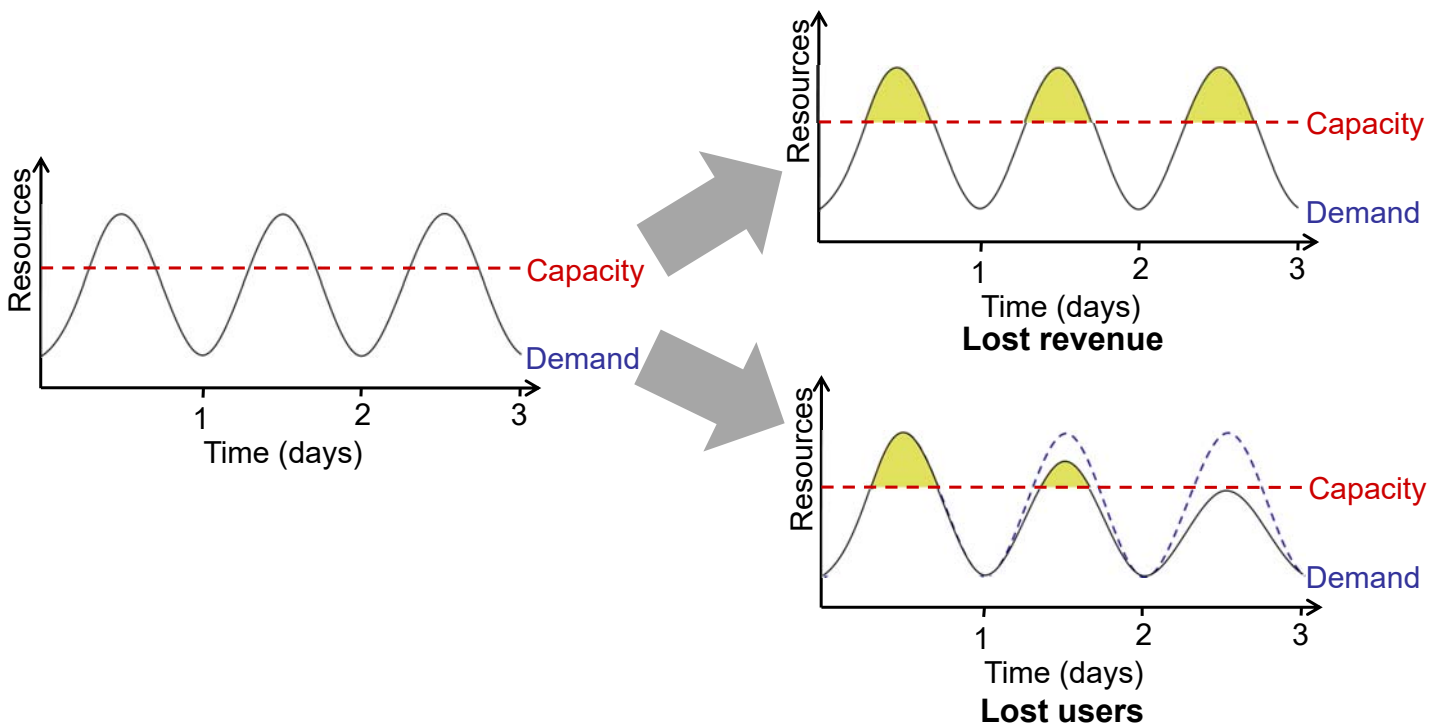
Static data center



# Economia del cc: elasticità



- Dimensionamento dell'infrastruttura – quando la richiesta di risorse varia nel tempo
  - under-provisioning





- Un altro caso – svolgimento di compiti intensivi da un punto di vista computazionale
  - ad es., analisi batch di grandi moli di dati
  - se il compito è “parallelizzabile”, allora può avere senso usare per poco tempo un numero elevato di server – anziché un solo server per un tempo elevato
    - a parità di costo, è possibile ottenere i risultati richiesti in tempi molto più ridotti!



- Punto di vista del fornitore – possibili benefici
  - realizzare profitti – sfruttando le economie di scala
  - capitalizzare i propri investimenti
    - Amazon – sfruttando la capacità di calcolo residua (al di fuori dei periodi di picco)
    - Google – sfruttando le infrastrutture esistenti
  - difendere un marchio
    - Microsoft – ad es., per vendere strumenti .NET
  - rafforzare le relazioni con i propri clienti
    - ad es., offrire ai propri clienti un servizio di disaster recovery nel cloud



## □ Economie di scala

- un grande data center può fruire di economie di scala significative rispetto a data center medio-piccoli – sia per le risorse tecnologiche che per altre infrastrutture (energia elettrica, riscaldamento, locali, ...)
- e può vendere queste risorse a costi inferiori di quelli tipici per un data center medio-piccolo

Risorsa	Costo per un DC medio	Costo per un DC molto grande	Rapporto
Rete	95\$ / Mbps / mese	13\$ / Mbps / mese	7.1x
Storage	2.20\$ / GB / mese	0.40\$ / GB / mese	5.7x
Amministrazione	≈140 server/admin	>1000 server/admin	7.1x



## - Discussione



### □ Alcune conseguenze economiche del cloud computing

- i fornitori di servizi nel cloud possono realizzare data center molto grandi, e vendere risorse e servizi computazionali in modo vantaggioso
- gli utenti di servizi nel cloud possono utilizzare o realizzare software (scalabile e disponibile) sulla base di un modello di pagamento a consumo – senza costi iniziali e senza costi aggiuntivi di gestione delle infrastrutture
- il cloud inoltre sostiene innovatività e competizione
  - i piccoli produttori di software possono avviare le loro attività con una dipendenza minore dagli investitori esterni
    - è possibile avviare un'attività milionaria possedendo solo un PC e una connessione a Internet – e molto talento 😊
  - gli investitori possono finalizzare i loro investimenti in modo più efficace



## \* Sistemi software per il cloud

- Oggi è sempre più comune rilasciare i propri sistemi software nel cloud – questo solleva un insieme di rischi, opportunità e sfide
  - esempi di rischi sono il rilascio in un ambiente di esecuzione condiviso (sicurezza) e l'utilizzo di piattaforme e servizi “non tradizionali” offerti nel cloud (ad es., i sistemi NoSQL)
  - un esempio di opportunità è il rilascio in piattaforme elastiche, scalabili e disponibili
  - una possibile sfida è rendere effettivamente scalabile, disponibile e modificabile un'applicazione o un servizio
  - questi rischi, opportunità e sfide sono spesso relative al raggiungimento di qualità – e quindi il software per il cloud richiede un cambiamento architetturale



## Sistemi software per il cloud

- Il software per il cloud richiede un cambiamento architetturale
  - l'architettura del software per il cloud deve tenere in considerazione le caratteristiche del cloud e dei servizi di cloud che si intendono utilizzare nella progettazione, sviluppo, rilascio e gestione delle applicazioni
  - è importante comprendere
    - il cloud come piattaforma per il rilascio del software
    - l'architettura del software per il cloud – il *cloud-native software* è il software progettato e sviluppato appositamente per il cloud
    - come rilasciare il software nel cloud



## Sistemi software per il cloud

- Alcuni requisiti tipici per i sistemi software per il cloud
  - alta disponibilità: nessuna interruzione di servizio
  - scalabilità: accettare un numero di utenti o di richieste crescenti
  - modificabilità (agilità): cicli di sviluppo e feedback rapidi (continui)
  - supporto per client mobili e dispositivi di accesso multipli
  - supporto per IoT (Internet of Things)
  - supporto per Big Data



## Sistemi software per il cloud

- Alcune caratteristiche del cloud che è necessario considerare
  - cambiamenti continui nell'ambiente di esecuzione
    - è possibile che nodi e servizi vengano arrestati e riavviati
      - la locazione in rete di questi nodi e servizi può cambiare nel tempo, così come il loro numero
    - è possibile che si verifichino dei guasti o che aumenti la latenza nella comunicazione tra i nodi distribuiti
    - bisogna far convivere i cambiamenti nell'ambiente con quelli nel software
  - uso di risorse condivise e controllo limitato sulla loro locazione
  - è in genere necessario usare i servizi specifici offerti dal fornitore di cloud – che potrebbero essere diversi da quelli usati tradizionalmente – e anche automatizzare la gestione dell'infrastruttura e dei rilasci
  - è spesso necessario applicare tattiche e pattern specifici



## \* Discussione

- È utile discutere il cloud computing nel contesto specifico della delivery del software
  - il cloud computing offre diversi modelli di servizio orientati al rilascio del software – che forniscono risorse infrastrutturali (IaaS) e piattaforme (PaaS) – che supportano diverse opzioni per gli ambienti di esecuzione
  - inoltre, il cloud computing consente diversi modelli di deployment
  - il cloud computing fornisce anche servizi DevOps – per gestire il rilascio del software in modo automatizzato