Luca Cabibbo

Architettura dei Sistemi Software

Stili client-server e peer-to-peer di solito solo cenni

dispensa asw420

ottobre 2024

The best thing about the future is that it comes one day at a time.

Abraham Lincoln

- Riferimenti

- Luca Cabibbo. **Architettura del Software**: Strutture e Qualità. Edizioni Efesto, 2021.
  - Capitolo 22, Stili client-server e peer-to-peer
- [SAP] Len Bass, Paul Clements, Rick Kazman. **Software Architecture in Practice**. Addison Wesley, third edition, 2013
- Cervantes, H. and Kazman, R. **Designing Software Architectures**: A Practical Approach. Addison Wesley, 2016.
- Microsoft. **Microsoft Application Architecture Guide**: Patterns & Practices, second edition. Microsoft Press, 2009.
- Coulouris, G., Dollimore, J., Kindberg, T., and Blair, G. **Distributed Systems**: Concepts and Design, fifth edition. Pearson, 2012.
- Alonso, G., Casati, F., Kuno, H., and Machiraju, V. **Web Services**: Concepts, Architectures and Applications. Springer, 2004.

- Obiettivi e argomenti

- Obiettivi
  - presentare due pattern architetturali fondamentali per sistemi distribuiti – lo stile client-server e lo stile peer-to-peer
- Argomenti
  - introduzione
  - stile client-server
  - stile peer-to-peer
  - discussione

* Introduzione

- Gli stili client-server e peer-to-peer sono alla base di molti sistemi distribuiti
  - lo *stile client-server* (*architettura client-server*) consente a un insieme di client distribuiti di accedere ai servizi e alle risorse computazionali offerte da uno o più server
  - lo *stile peer-to-peer* (*architettura peer-to-peer*) consente a un insieme di peer distribuiti di condividere tra di loro dei servizi e delle risorse computazionali
  - questi stili possono essere applicati in numerose varianti
  - altri pattern architetturali per sistemi distribuiti possono essere considerati delle evoluzioni di questi pattern fondamentali

Entrambi gli stili hanno l'obiettivo di permettere l'accesso a servizi e risorse. Nel primo caso però questi sono concentrati in dei server e acceduto dai client, nel secondo caso queste risorse e servizi sono decentralizzati in peer e quindi ciascun peer può potenzialmente offrirli e servirsene da altri.

Servizi e risorse computazionali

- Questi due stili consentono l'accesso o la condivisione di "servizi" e "risorse computazionali"
  - servizio Hanno a che fare con funzionalità ed elaborazione
    - un insieme di funzionalità, che client diversi possono usare per scopi differenti
  - risorse computazionali Risorse hardware o virtualizzazione di risorse hardware
    - risorse di memorizzazione – per la gestione e l'accesso a dati – ad es., un file system o una base di dati
    - risorse di elaborazione – la capacità di eseguire operazioni, servizi, applicazioni o computazioni
    - altre risorse – ad es., la condivisione di una stampante o di hardware specializzato
  - questi due stili differiscono soprattutto nel posizionamento e nella gestione di questi servizi e di queste risorse
    In un caso sono centralizzati E gestiti centralmente, nell'altro caso decentralizzati e tendenzialmente gestiti in modo decentralizzato (si può avere anche una gestione centralizzata)

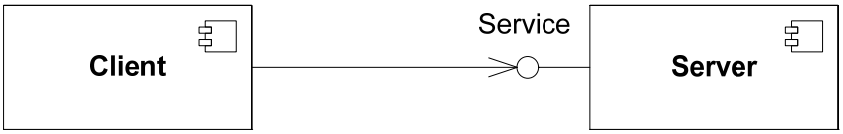
* Stile client-server

NOTA: Segui questo pattern per esporre all'esame: CONTESTO, PROBLEMA, SOLUZIONE, DISCUSSIONE (quindi ricordati nella discussione di dire se e come le qualità che si vogliono sostenere nella definizione del problema sono poi effettivamente sostenute attraverso la soluzione)

- Contesto
  - ci sono delle risorse computazionali o dei servizi che devono essere condivisi
    Nota che qui compare una parola che definisce anche la soluzione, ma è un termine diffuso nell'uso comune di utente che vuole accedere ad un servizio
  - un gran numero di utenti o "client" distribuiti vogliono accedere a queste risorse e servizi
  - è necessario controllare l'accesso a queste risorse e servizi, e la qualità del servizio
- Problema
  - bisogna gestire e consentire l'accesso a un insieme di risorse computazionali e servizi condivisi
  - si vogliono sostenere modificabilità e riuso di queste risorse e servizi
  - si vogliono sostenere scalabilità e disponibilità nell'accesso a queste risorse e servizi

Stile client-server

- Soluzione (struttura)
  - organizza il sistema come un insieme di server e di client
    Nel corso parliamo di software, qui server non è una macchina, è un PROCESSO, uguale per il client
    - ciascun *server* è un componente software (un processo) in grado di fornire/erogare uno o più servizi ai suoi client
    - ciascun *client* è un componente software (un processo) interessato a fruire di uno o più servizi da uno o più server
  - ciascun *servizio* rappresenta una funzionalità oppure una risorsa computazionale – ed è caratterizzato da un'interfaccia, basata su un connettore di tipo richiesta-risposta

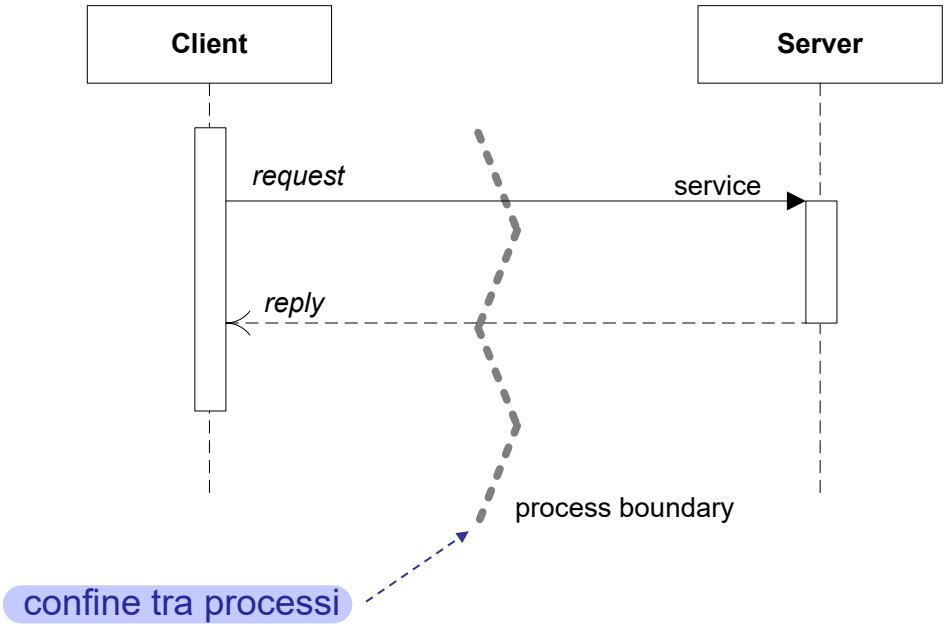


Stile client-server

- Soluzione (dinamica)
  - i client interagiscono invocando i servizi dai server, tramite i relativi protocolli richiesta-risposta
  - i server sono responsabili di erogare dei servizi specifici, su richiesta dei client
  - le interazioni tra client e server avvengono sulla base del connettore di tipo richiesta-risposta per il servizio di interesse

Stile client-server

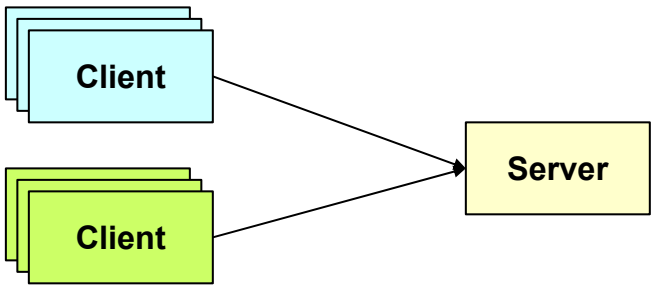
- Soluzione (dinamica)



Stile client-server

- Soluzione (dinamica)
  - un server può essere acceduto in modo concorrente da molti client (indipendenti tra di loro e di più tipologie)
  - i server sono indipendenti dai loro client

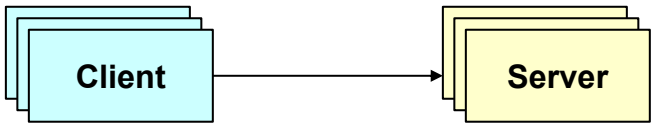
Sono possibili diverse varianti, di solito si assume che ci siano molti client (quindi ci possono essere molti client e molte istanze di client) e che agiscano concorrentemente sullo stesso server.



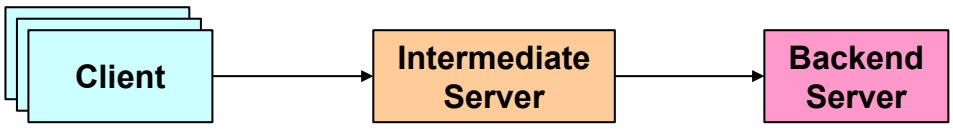
Stile client-server

- Esistono numerose varianti dell'architettura client- server
  - un servizio può essere erogato da un singolo server oppure può essere replicato ed erogato da molti server

La seconda variante è che il server sia replicato (ci sono molte istanze del server) e quindi il client fa una richiesta ad un pool di server e questa richiesta viene indirizzata tramite un load balancer



  - alcuni componenti possono agire sia da client che da server (di servizi differenti)



Stile client-server

- Discussione
  - l'accesso alle risorse e ai servizi condivisi avviene in genere in uno o in pochi server, collocati e governati centralmente
    - sostiene la possibilità di controllare l'accesso alle risorse e la qualità dei servizi
  - le risorse e i servizi possono essere distribuiti e replicati su più server e più nodi (fisici o virtuali)
    - sostiene la disponibilità e la scalabilità
  - la centralizzazione delle risorse e dei servizi consente una loro modifica in un numero limitato di locazioni
    - sostiene la modificabilità di risorse e servizi

Il fatto che le risorse siano centralizzate consente di fare modifiche facilmente, poiché se devo cambiare la funzionalità (il servizio) implementata dai server, se i server sono dieci faccio l'aggiornamento dei dieci server, se invece dovessi cambiare i client (es un miliardo di client nel mondo), dovrei cambiarli tutti.

Stile client-server

- Esempi di uso
  - molte applicazioni e servizi di Internet, file system distribuiti, basi di dati,...

- Conseguenze – in prima approssimazione
  - ☺ condivisione di risorse, centralizzazione di elaborazioni complesse e di dati sensibili
  - ☺ possibilità di sostenere prestazioni, scalabilità e disponibilità
  - ☹ overhead della comunicazione, sicurezza, …
  - ☹ un server non replicato potrebbe essere un collo di bottiglia per prestazioni e scalabilità e un punto di fallimento singolo per la disponibilità

- Pattern di deployment

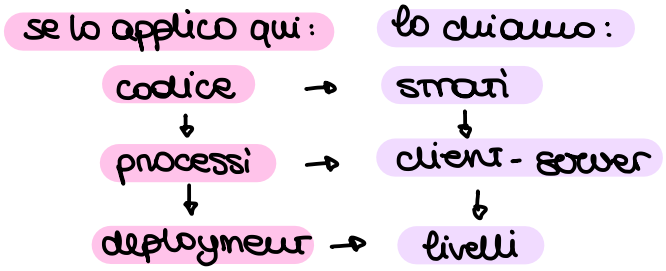
- Nello stile architetturale client-server, i client e i server sono dei componenti software (non hardware)
  - uno stile di solito adottato nella *vista funzionale* o nella *vista della concorrenza*

    In cui ci sono elementi con responsabilità funzionali (nella vista funzionale) o processi (vista della concorrenza)
- L'applicazione dello stile client-server nella *vista di deployment* (dell'hardware) è descritto dai *pattern di deployment*
  - ciascuno di questi pattern rappresenta un modo diverso per allocare i processi di interesse su uno o più nodi

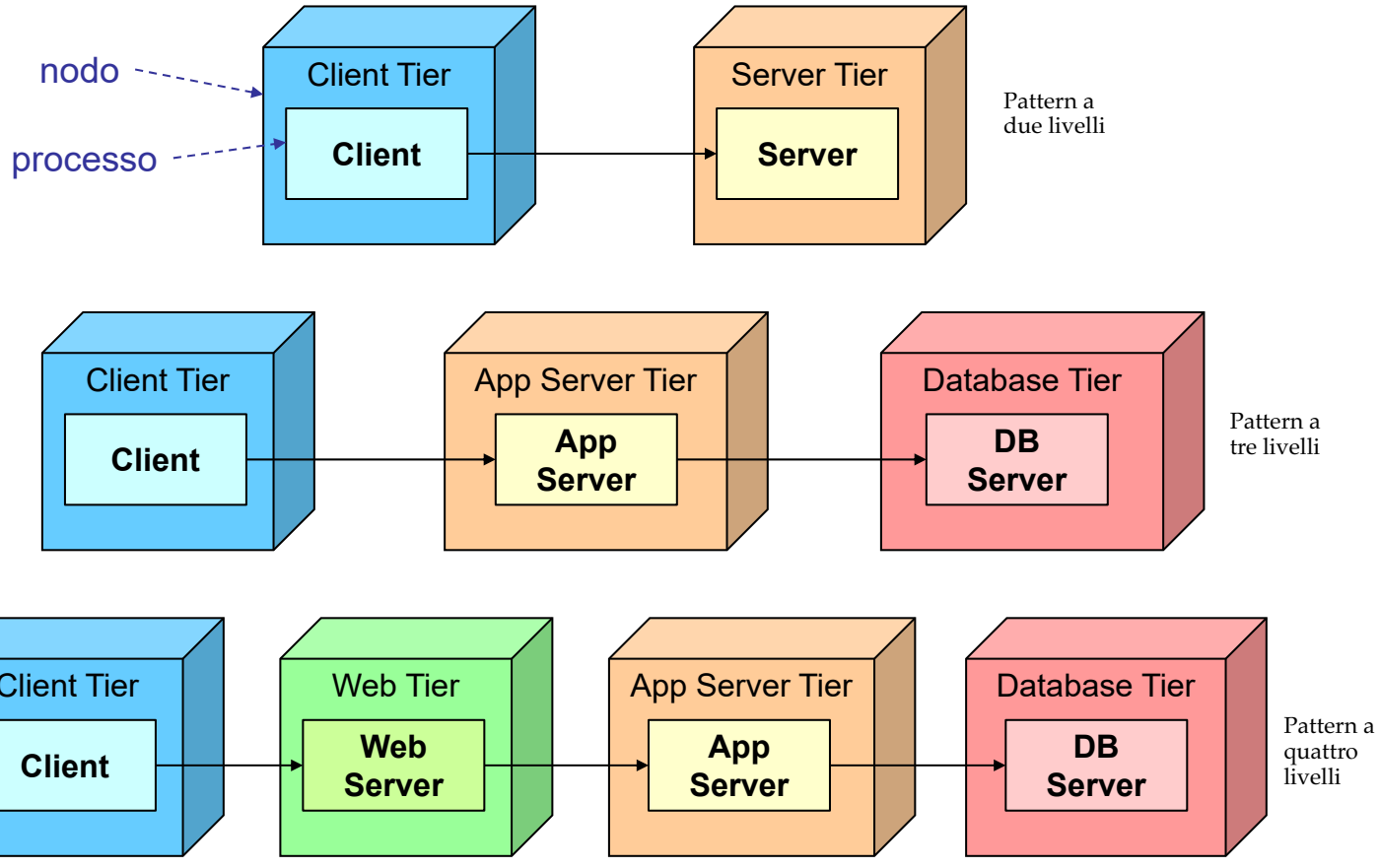
    Ciascun pattern mappa i processi sui nodi

Pattern di deployment e livelli (tier)

- I pattern di deployment sono basati sulla nozione di livello
  - un **livello** (*tier*) è un nodo o un gruppo di nodi su cui sono rilasciati alcuni processi di un sistema client-server
  - il sistema è organizzato come una sequenza di livelli
    - ciascun livello eroga servizi nei confronti del livello precedente e richiede servizi nei confronti del livello successivo
  - i livelli sono di solito organizzati in base al tipo di servizio (responsabilità) che forniscono



Pattern di deployment comuni



Livelli e strati

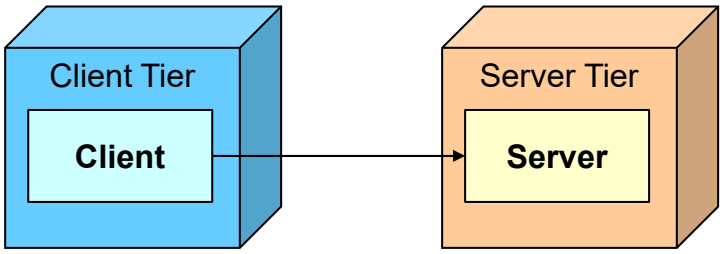
- Le responsabilità funzionali di un sistema client-server, rilasciato su più livelli, sono spesso organizzate a strati
  - la vista funzionale è basata su un'architettura a strati
    - gli strati sono organizzati in base al livello di astrazione
  - la vista di deployment è basata su un'architettura a livelli
    - i livelli sono organizzati in base al tipo di servizio (responsabilità) che forniscono
    - il software in ciascun livello è spesso organizzato internamente a strati

Vogliamo sapere quale è la relazione tra le responsabilità strati e le responsabilità dei livelli

- Discutiamo ora alcune corrispondenze comuni tra livelli e strati nell'architettura client-server
  - ipotesi (semplificativa): le responsabilità principali del sistema sono presentazione, logica di business e gestione dei dati

Pattern client-server a due livelli

- Pattern client-server a due livelli



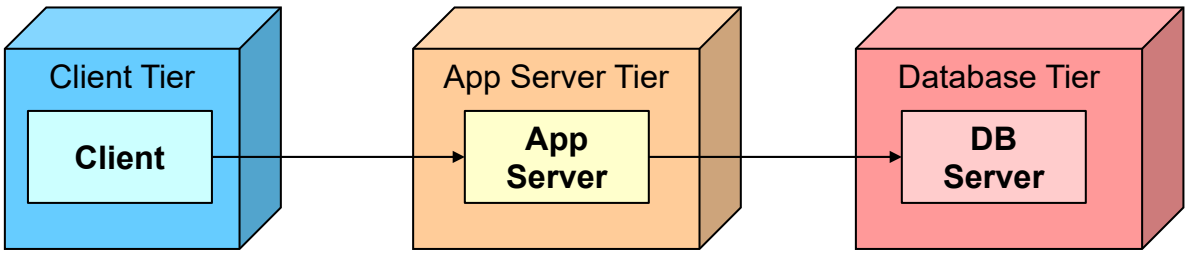
  - popolare negli anni '80
  - due varianti principali
    - modello *thin-client* — Il client si occupa solo della presentazione, il server sia della logica applicativa che dei dati
    - modello *thick-client* (o *fat-client*) — Nel client viene eseguita anche la logica applicativa, il server gestisce solo la logica dei dati

Pattern client-server a due livelli

- Conseguenze
  - ☺ negli anni ‘80, il modello thin-client è stata una soluzione per la migrazione dai sistemi legacy (basati su mainframe) a un’architettura distribuita
  - ☺ il modello thick-client ha saputo utilizzare l’aumentata potenza di calcolo dei PC degli anni ‘80
  - ☺ possibili più client – di tipo diverso
  - ☺ semplice gestire l’aggiornamento dei server
  - ☹ è in genere poco scalabile
  - ☹ gestire l’aggiornamento dei client può essere problematico

Pattern client-server a tre livelli

- Pattern client-server a tre livelli



  - popolare negli anni ‘90

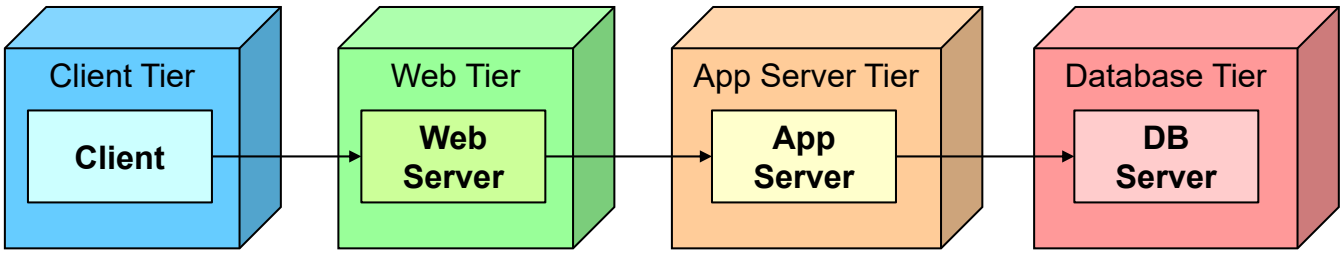
Si separa la gestione dei dati, che avviene normalmente nelle basi di dati, e la logica applicativa viene gestita in un server separato quindi il carico applicativo viene distribuito. Inoltre vengono definiti i primi cluster, i primi sistemi distribuiti replicati, quindi l’application server viene replicato.

Pattern client-server a tre livelli

- Conseguenze
  - ☺ consente una migliore distribuzione del carico di elaborazione e migliori prestazioni – questo può compensare il maggior overhead nella comunicazione
  - ☺ supporto per disponibilità e scalabilità – il livello intermedio può essere un cluster di nodi server
  - ☺ più semplice da gestire – rispetto al modello fat-client
  - ☹ maggior complessità e maggior overhead nella comunicazione
  - ☹ è più difficile decidere come allocare le responsabilità ai diversi livelli – questa decisione è complessa e costosa da cambiare
  - ☹ può essere problematico gestire l'aggiornamento dei client

Pattern client-server a quattro livelli

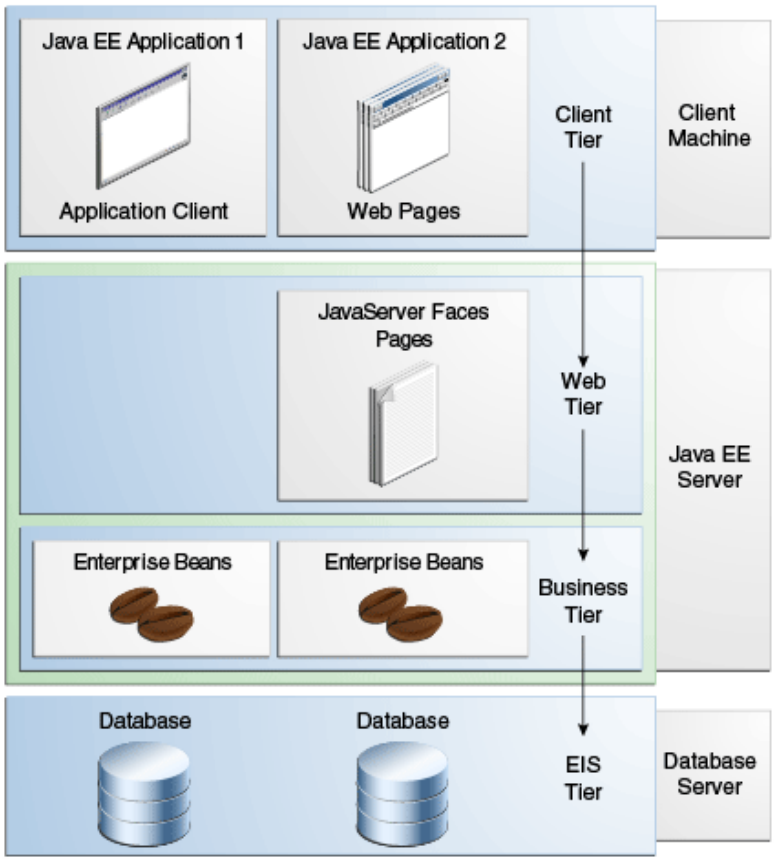
- Pattern client-server a quattro livelli



  - un pattern popolare negli anni '00 (e ancora oggi), grazie alla disponibilità di opportune piattaforme e framework

Si decompone il livello di presentazione, che prima era a carico del client, adesso viene realizzato con tecnologie web. Il server web genere il codice html da visualizzare, questo viene trasmesso in rete al client che lo visualizza. Inoltre il client web può essere esterno all'organizzazione ma normalmente gli altri tre livelli sono centralizzati.
Migliora la scalabilità, il livello di replicazione, e l'aggiornamento dei client è a costo zero (se devo cambiare solo il livello web).

Esempio – piattaforma Java EE



Pattern client-server a quattro livelli

- Conseguenze
  - ☺ architettura flessibile, che sostiene prestazioni, disponibilità e scalabilità
  - ☺ sostiene la sicurezza di applicazioni che devono essere accedute pubblicamente Il client non accede mai direttamente ai dati
  - ☺ semplice gestire l'aggiornamento di tutte le responsabilità
  - ☹ la complessità è ancora maggiore

- Opzioni per il client

- Alcune varianti dello stile client-server fanno riferimento soprattutto alle caratteristiche della presentazione e dei client
  - web application
  - rich client application
  - rich internet application
  - mobile application
  - queste varianti differiscono anche nelle responsabilità lato server e nelle modalità di interazione tra client e server

Web application

- *Web application*
  - il client è un browser web eseguito nel nodo client di un utente
  - il client comunica con il server web mediante HTTP
  - da considerare quando
    - l'applicazione deve essere accessibile su Internet
    - è sufficiente un'interfaccia utente semplice – non è richiesta un'interfaccia utente "ricca"
    - si vuole portabilità dell'interfaccia utente
    - non si vuole dover installare nei client nessun software specifico per l'applicazione
    - si vogliono usare solo un minimo di risorse lato client

Rich Client Application

- *Rich Client Application*
  - il client (specifico per l'applicazione) viene installato ed eseguito sul nodo client dell'utente
  - il client comunica con i servizi remoti dell'applicazione mediante un protocollo specifico
  - l'interfaccia utente può fornire un'esperienza per l'utente ricca, altamente interattiva, e con elevate prestazioni
  - da considerare quando
    - si vuole un'interfaccia utente "ricca" e altamente interattiva
    - è possibile installare nei nodi client del software specifico per l'applicazione
    - si vogliono sfruttare le risorse del nodo client
    - si vuole consentire l'uso dell'applicazione anche in modo disconnesso o con connettività intermittente

Rich Internet Application

- *Rich Internet Application*
  - il client (specifico per l'applicazione) può essere scaricato da un server web ed eseguito da un utente nel suo browser web
  - sono applicazioni più complesse delle applicazioni web
  - da considerare quando
    - si vuole un'interfaccia utente "ricca" e altamente interattiva
    - non si vuole dover installare nei client nessun software specifico per l'applicazione
    - si vogliono poter eseguire delle elaborazioni lato client
    - lato client è accettabile un accesso limitato alle risorse locali

Mobile application

- *Mobile application*
  - un'applicazione (app) mobile viene eseguita su un dispositivo mobile
  - le app mobili operano spesso come client di servizi remoti, mediante una connessione mobile
  - le app mobili sono spesso realizzate come rich client application oppure come web application
  - da considerare quando
    - si vuole eseguire l'applicazione su un dispositivo mobile
    - si vuole consentire l'uso dell'applicazione anche in caso di connettività poco affidabile o intermittente
    - è accettabile eseguire delle elaborazioni lato client, anche se con risorse limitate

- Servizi, interfacce (API) e protocolli

- Nello stile client-server, ciascun servizio viene "pubblicato" mediante un'*interfaccia* – chiamata un'*API* (*application programming interface*) Il server offre delle API
  - ogni API è basata su un connettore, che definisce il protocollo e il formato delle richieste e delle risposte scambiate nelle interazioni tra il server e i suoi client
    - l'applicazione dello stile client-server richiede sempre di definire, per ciascun servizio, la sua interfaccia e il relativo protocollo
  - ci sono numerose possibilità su cui basare il protocollo

- Interfacce fornite e interfacce richieste

- Nello stile client-server
  - i servizi offerti da un server costituiscono l'*interfaccia fornita* del server
  - i servizi richiesti da un client costituiscono l'*interfaccia richiesta* del client
- Inoltre
  - un server può avere più interfacce fornite
  - un client può avere più interfacce richieste
  - i server intermedi possono avere sia interfacce fornite che interfacce richieste

- Stateless e stateful

Possono avere molti significati dipendenti anche spesso dal contesto in cui li incontriamo, quindi significati diversi coprono aspetti diversi

- L'essere "stateful" oppure "stateless" è una caratterizzazione importante dei servizi e dei server che li erogano

Possono essere riferiti o ai servizi o ai server

  - riguarda la loro necessità o meno di gestire uno stato
  - una possibile definizione relativa ai servizi
    - un servizio è *stateful* se il suo comportamento dipende, in qualche modo, da quanto è successo nelle sue esecuzioni precedenti

Cioè dipende da ciò che è successo prima. Es stateless è controllare il meteo perché la previsione in un certo momento sarà sempre quella, stateful è la visualizzazione del carrello per un utente Amazon che dipende da cosa ho aggiunto o meno prima

    - un servizio è *stateless* se il suo comportamento non dipende da quanto è successo nelle sue esecuzioni precedenti
  - lo stato di cui si parla si riferisce alla necessità, per un sistema software nella sua interezza, di memorizzare queste informazioni di stato relative a un servizio offerto dal sistema

Stateless e stateful

- Lo stato di cui si parla può riguardare
  - lo stato persistente generato dall'esecuzione delle operazioni del servizio
  - lo stato delle conversazioni (o sessioni) con i client che accedono al servizio
  - poiché molti servizi utili richiedono la gestione di uno stato persistente, viene spesso usata anche la seguente definizione alternativa
    - un servizio è *stateful* se l'esecuzione di un'operazione dipende dallo stato della conversazione/sessione con il client che ha richiesto l'operazione – altrimenti il servizio è *stateless*

Qualcuno nella definizione di stateless e stateful include anche lo stato persistente, altri assumono invece che lo stato persistente ci sia sempre e quindi riferiscono le definizioni solo alla presenza o meno dello stato delle conversazioni o sessioni. Quindi quando parliamo di stato a volte ci riferiamo ad entrambi gli stati, altre volte solo ad uno dei due

Stateless e stateful

- La proprietà di essere "stateful" o "stateless" si può riferire anche ai server usati per erogare i servizi
  - una possibile definizione relativa ai server
    - un server è *stateful* se scrive oppure legge localmente informazioni circa il proprio stato che vengono mantenute da un'esecuzione precedente a un'esecuzione successiva delle proprie operazioni
    - un server è *stateless* se non legge né scrive localmente informazioni circa il proprio stato
  - in questo caso, lo stato di cui si parla si riferisce alla necessità, per il server, di memorizzare localmente queste informazioni di stato

Un sistema stateless può essere implementato con soli server stateless (non nel senso che è obbligatorio ma che è possibile implementarlo solo con server stateless senza dover fare ricorso a server stateful) , mentre un sistema stateful ha necessità almeno di uno/anche di un solo server stateful

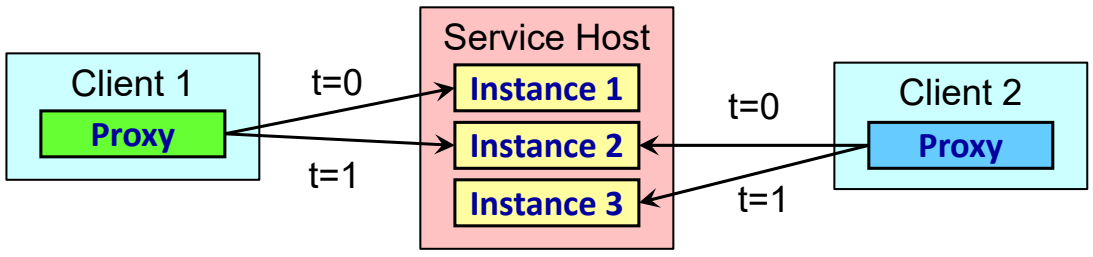
Stateless e stateful

- L'essere "stateful" o "stateless" è una caratteristica importante
  - i server stateless possono essere replicati facilmente
    - per sostenere disponibilità e scalabilità
  - se un servizio è stateful, allora il sistema deve gestire (da qualche parte, di solito in uno o più dei suoi server) lo stato del servizio
    - questo ha impatto sul livello di accoppiamento e sulla scalabilità del sistema

Le parti stateless possono sostenere accoppiamento e disponibilità ma a volte le parti stateful possono essere necessarie. Ad oggi l'approccio migliore è quello di tenere separate le due parti in modo da gestirle correttamente

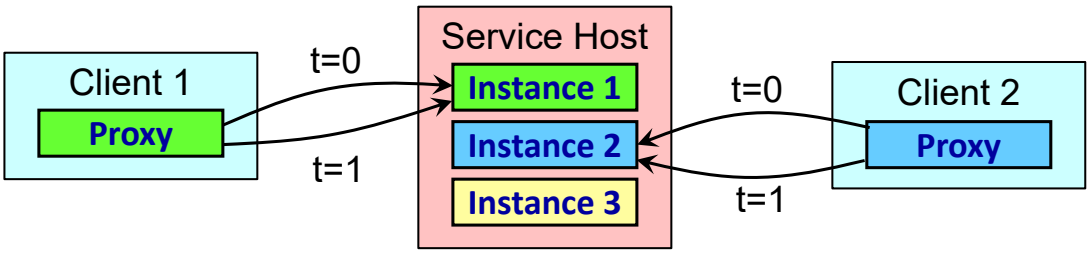
Servizi e server stateless

- Un *servizio stateless* (rispetto alle sessioni) può essere implementato da un *server stateless*
  - adeguato quando la gestione di una richiesta è indipendente dalla storia delle richieste precedenti
  - ogni richiesta può essere gestita indipendentemente dalle altre richieste da parte dello stesso client
  - è possibile fare pooling delle istanze del server – le risorse di ogni server possono essere condivise tra i diversi client
    - impatto positivo sulla scalabilità



Servizi e server stateful

- Un *servizio stateful* (rispetto alle sessioni) può essere implementato da un *server stateful*
  - utile quando la gestione di una richiesta deve poter dipendere dalla storia delle richieste precedenti da parte di quel client
  - una possibilità è che ciascuna istanza di server gestisca uno o più client, per tutta la durata delle loro sessioni
    - impatto negativo sulla scalabilità



Implementazione di servizi stateful

- Come gestire il caso di un servizio stateful?
  - il sistema, da qualche parte, deve memorizzare lo stato di quel servizio
  - una soluzione comune consiste nell'utilizzare più server per implementare (complessivamente) il servizio Separare le responsabilità
    - uno o più server stateful, usati esclusivamente per la memorizzazione di dati – ad es., un database server o una cache Server dedicati
    - uno o più server stateless, per la logica di business

Implementazione di servizi stateful

- Alcune opzioni per implementare un servizio stateful (rispetto alle sessioni)
  - stato delle sessioni nell'application server (AS)
  - stato delle sessioni nei client — Mediante cookie, ma è una soluzione costosa perché i cookie devono viaggiare in rete e sollevano anche problemi di sicurezza
  - stato delle sessioni in una base di dati — L'accesso alla base di dati è costoso
  - stato delle sessioni in una cache (in memoria) — Cioè base di dati in memory con un server che fa solo quello
  - le diverse opzioni hanno caratteristiche e conseguenze diverse

- Ulteriori considerazioni e varianti

- Nell'architettura client-server
  - l'invocazione dei servizi è di solito sincrona
    - il client effettua una richiesta e rimane in attesa di una risposta
    - tuttavia, alcuni servizi possono essere invocati in modo "asincrono"
  - l'interazione è asimmetrica
    - è iniziata dai client, che deve conoscere l'identità del server
    - tuttavia, è possibile che un server possa iniziare delle azioni nei confronti dei suoi client – sulla base di meccanismi di notifica o callback

- Note terminologiche

- Alcuni modi comuni di utilizzare i termini “client” e “server”
  - nello stile architetturale client-server, sono usati per descrivere l’organizzazione fondamentale di un sistema distribuito
  - talvolta vengono usati per descrivere, localmente, la relazione tra una coppia di elementi architetturali
    Cioè non l’organizzazione generale del sistema ma l’organizzazione tra i due elementi
  - altre volte vengono usati per descrivere il ruolo rivestito da una coppia di elementi nell’ambito di una singola interazione
    Potrebbero cambiare i ruoli nelle interazioni successivi
  - altre volte ancora vengono usati per indicare elementi hardware anziché elementi software runtime

Note terminologiche

- Anche il termine “servizio” viene spesso usato con significati leggermente diversi
  - nello stile architetturale client-server
    - un servizio rappresenta un insieme di funzionalità
    - i servizi sono erogati da componenti server e fruiti da componenti client
  - nell’architettura a servizi
    - un servizio è un componente software o un’applicazione in grado di erogare un certo insieme di funzionalità

* Stile peer-to-peer

- Lo stile peer-to-peer (P2P) organizza un sistema distribuito in modo decentralizzato, come una rete di nodi (peer) che condividono le proprie risorse di calcolo
  - i sistemi client-server offrono una capacità computazionale limitata – perché forniscono l'accesso alle risorse gestite da uno o pochi server centralizzati
  - i sistemi P2P possono invece offrire una capacità computazionale molto alta (o illimitata) – perché possono fornire l'accesso alle risorse gestite da tutti i nodi di una rete – una rete aziendale o anche Internet

Esempi di sistemi peer-to-peer

- Alcuni esempi di sistemi peer-to-peer
  - condivisione di contenuti (file sharing)
    - ad es., musica e distribuzioni di OS
  - comunicazione e collaborazione
    - ad es., chat
  - calcolo distribuito
    - ad es., seti@home, grid, cloud
  - sistemi per la gestione e la replicazione di dati distribuiti
    - ad es., basi di dati non relazionali e blockchain

Caratteristiche dei sistemi peer-to-peer

- I sistemi P2P hanno anche la capacità di trattare l'instabilità come la norma
  - sono in grado di riorganizzarsi autonomamente – anche a fronte di peer che si connettono e sconnettono autonomamente al/dal sistema
  - sfruttano la replicazione delle risorse per sostenere disponibilità e scalabilità

Stile peer-to-peer

- Contesto
  - ci sono diverse entità distribuite – ciascuna con le proprie risorse computazionali
  - queste entità devono poter cooperare e collaborare per fornire dei servizi a una comunità distribuita di utenti
  - ogni entità è considerata ugualmente importante nel poter avviare interazioni con le altre entità
- Problema
  - si vogliono organizzare un insieme di entità computazionali distribuite affinché possano condividere i loro servizi e risorse
  - queste entità sono tra di loro "equivalenti" o "pari"
  - si vogliono connettere queste entità sulla base di un protocollo comune
  - si vogliono sostenere scalabilità e disponibilità

Stile peer-to-peer

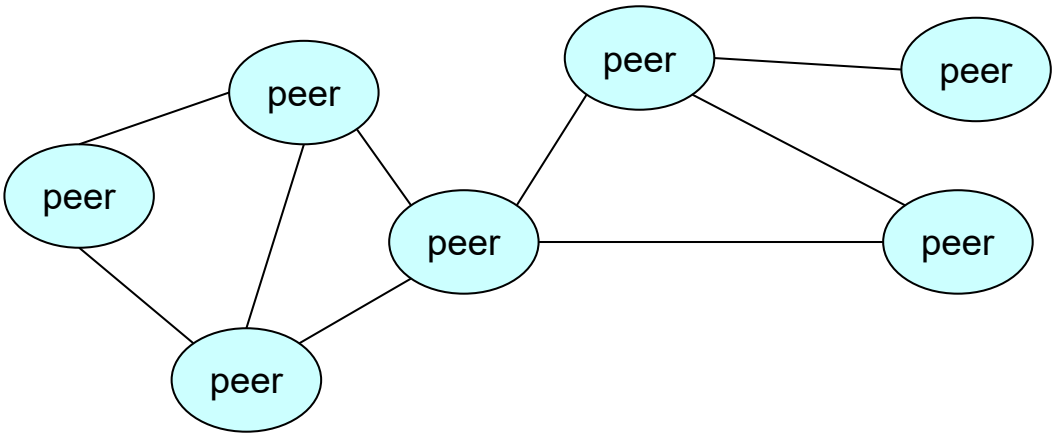
- Soluzione
  - organizza il sistema (o servizio) come un insieme di componenti *peer* che interagiscono tra di loro come “pari”
    - ogni peer è un componente software (un processo) – “peer” viene talvolta usato anche per indicare un nodo per un peer
    - i peer sono tutti ugualmente importanti – nessun peer dovrebbe essere critico per la salute del sistema o servizio
  - la comunicazione avviene direttamente da peer a peer (*peer to peer*), sulla base di interazioni richiesta-risposta
    - ogni peer fornisce e richiede servizi simili, utilizzando uno stesso protocollo
    - ogni peer può interagire con ogni altro peer – le interazioni possono essere avviate da ciascun peer
  - talvolta l’interazione consiste solo nell’inoltro di dati

Stile peer-to-peer

- Lo stile peer-to-peer riflette i meccanismi bidirezionali che possono sussistere tra due o più entità che interagiscono tra loro come pari
  - ciascun peer offre e consuma servizi simili
  - i servizi sono relativi alla gestione delle risorse che si vogliono condividere
  - i connettori peer-to-peer implicano delle interazioni bidirezionali

Rete peer-to-peer

- Una *rete peer-to-peer* è l'insieme dei peer di un sistema P2P e dei collegamenti tra di essi
  - la rete può variare dinamicamente nel tempo



- P2P – Esempi

- Ecco alcune applicazioni di esempio dello stile peer-to-peer
  - file sharing
    - ogni peer condivide la propria capacità di memorizzare file
    - un peer può
      - aggiungere localmente un file
      - cercare un file su altri peer
      - scaricare un file (o un frammento di file) da altri peer
      - cancellare localmente un file
    - ogni peer può eseguire o supportare operazioni richieste da altri peer

P2P – Esempi

- Ecco alcune applicazioni di esempio dello stile peer-to-peer
  - esecuzione di task in un cluster
    - ogni peer del cluster condivide la propria capacità di eseguire dei task – ad es., servizi, job o container
    - un peer può
      - installare localmente un task
      - eseguire un task richiesto da un altro peer
      - chiedere l'esecuzione di un task ad altri peer
    - ogni peer può eseguire o supportare operazioni richieste da altri peer

P2P – Esempi

- Ecco alcune applicazioni di esempio dello stile peer-to-peer
  - gestione di una base di dati distribuita – ad es., un insieme di coppie chiave-valore (K-V)
    - ogni peer condivide la propria capacità di memorizzazione
    - ciascun peer memorizza un sottoinsieme delle coppie K-V
    - ciascun peer può eseguire operazioni CRUD sulla base di dati
      - inserire una nuova coppia, cercare il valore associato a una chiave, aggiornare il valore associato a una chiave, cancellare una coppia
    - per eseguire un'operazione richiesta, un peer può interagire anche con altri peer

- P2P in reti non controllate

- Lo stile peer-to-peer è stato spesso utilizzato in *reti P2P non controllate*
  - ogni peer è gestito da un utente – che è libero di collegarsi alla rete P2P, eseguire le operazioni di interesse, e poi abbandonare la rete P2P in qualunque momento
  - non è possibile fornire garanzie complessive sull'effettiva condivisione delle risorse

- P2P in reti controllate

- Lo stile peer-to-peer può essere usato anche in *reti P2P controllate* – come un insieme di nodi del data center di un'organizzazione
  - i peer sono controllati dall'organizzazione
  - i nodi si disconnettono dalla rete (solo) in caso di guasti
  - è possibile fornire garanzie sull'effettiva condivisione delle risorse
    - l'organizzazione può controllare l'aggiunta e la rimozione di nodi dalla rete – ragionando sul livello di replicazione delle risorse e sulla loro localizzazione

- Scenari

- Avvio
  - un peer si connette alla rete P2P
    - per scoprire e conoscere altri peer con cui poter interagire
    - per comunicare la propria presenza – ma anche il proprio insieme iniziale di contenuti o le proprie capacità
  - la possibilità di aggiungere dinamicamente peer alla rete P2P favorisce la scalabilità del servizio

Scenari

- Richiesta di servizi (accesso a risorse)
  - un peer può poi avviare delle interazioni per ottenere dei servizi – chiedendo questi servizi ai peer che conosce
  - un servizio comune è la *ricerca* di una risorsa – per trovare uno o più peer che possiedono la risorsa cercata
    - un peer che riceve la richiesta per una ricerca, la effettua localmente – ma la può anche propagare ad altri peer

Scenari

- Richiesta di servizi (accesso a risorse)
  - un peer può poi avviare delle interazioni per ottenere dei servizi – chiedendo questi servizi ai peer che conosce
  - un altro servizio comune è il *consumo* di una risorsa
    - una richiesta di questo tipo può essere diretta a un solo peer, tra quelli che possiedono la risorsa
    - in alcuni casi un peer può consumare la risorsa da più peer, in modo concorrente
    - il peer che riceve una risorsa la può anche memorizzare localmente, per poi poterla condividere

Scenari

- Richiesta di servizi (accesso a risorse)
  - un peer può poi avviare delle interazioni per ottenere dei servizi – chiedendo questi servizi ai peer che conosce
  - un altro possibile servizio è l'*aggiunta* di una risorsa
    - ci sono diverse possibilità
      - la risorsa viene aggiunta solo localmente dal peer che riceve la richiesta
      - oppure, il peer gira la richiesta a un altro peer
      - oppure, il peer aggiunge la risorsa localmente, e poi inoltra la richiesta ad altri peer, per fare replicare la risorsa

Scenari

- Rimozione di peer
  - è possibile che un peer (con le sue risorse) venga rimosso dalle rete P2P
  - la rimozione di un peer non dovrebbe compromettere la disponibilità dei servizi offerti dalla rete peer-to-peer
    - questo avviene se i diversi peer hanno capacità sovrapponibili e se le risorse sono replicate su più peer

Scenari

- Super-nodi
  - alcune reti P2P hanno dei peer specializzati (super-nodi o super-peer) che forniscono servizi comuni o speciali agli altri peer

Discussione

- Alcune conseguenze dello stile peer-to-peer
  - ☺ consente la condivisione di risorse tra un gran numero di nodi
  - ☺ può sostenere disponibilità, scalabilità, distribuzione del carico e prestazioni – soprattutto nelle reti controllate
  - ☹ a causa della forte decentralizzazione, è più complesso (o impossibile) gestire la sicurezza, la consistenza dei dati, gestire e controllare la disponibilità dei dati e dei servizi, effettuare backup e recovery
  - ☹ in molti casi è difficile fornire garanzie di qualità – soprattutto nelle reti non controllate

Esempio: basi di dati distribuite

- Alcuni sistemi per la gestione di dati distribuiti (ad es., i database NoSQL o le object cache) in un cluster usano una combinazione dei seguenti meccanismi per sostenere scalabilità e disponibilità
  - replicazione dei dati su più nodi del cluster
    - replicazione master-slave (non è P2P), oppure
    - replicazione peer-to-peer – una soluzione spesso più efficace per la propagazione degli aggiornamenti
  - distribuzione (sharding) dei dati sui nodi del cluster
  - è anche possibile combinare replicazione e distribuzione dei dati

- Note terminologiche

- Alcuni modi comuni di utilizzare i termini “peer” e “peer-to-peer”
  - nello stile architetturale peer-to-peer, sono usati per descrivere l’organizzazione fondamentale di un sistema distribuito
  - talvolta vengono usati per descrivere, localmente, la relazione tra una coppia di elementi architetturali
    - due elementi sono in una relazione peer-to-peer se ciascun elemento può iniziare interazioni nei confronti dell’altro
    - questo non sempre vuole dire che i due elementi implementano una stessa interfaccia – ad es., potrebbe voler dire solo che i due elementi comunicano con uno stesso protocollo (ad es., si scambiano messaggi) oppure anche solo che non sono in una relazione client-server

* Discussione

- Gli stili architetturali client-server e peer-to-peer sono alla base di molti sistemi distribuiti
  - le tecnologie sottostanti, e i relativi pattern di utilizzo, si sono evoluti nel corso degli anni per semplificare ulteriormente lo sviluppo dei sistemi distribuiti e per favorire le loro qualità e la loro interoperabilità

Discussione

- Alcuni sistemi sono basati su una combinazione degli stili C-S e P2P – che vengono applicati separatamente in parti distinte del sistema
  - ad es., un sistema che implementa un servizio mediante un insieme di server che condividono tra loro le proprie risorse computazionali – e che offre questo servizio ai suoi client
  - è il caso di alcuni sistemi per la gestione di dati distribuiti