
Progettazione: architetture software

Laura Semini, Ingegneria del Software

Dipartimento di Informatica, Università di Pisa



Progettare prima di produrre

- “The architect’s two most important tools are: the eraser in the drafting room and the wrecking bar on the site” [Frank Lloyd Wright]
 - Anche nel software: nonostante l’apparente omogeneità dei materiali tra progetto e realizzazione: il codice è più “duro” dei modelli.
- Tipico della produzione industriale
- Alcune motivazioni
 - Complessità del prodotto
 - Organizzazione e riduzione delle responsabilità
 - Controllo preventivo della qualità

La progettazione

- Costituisce la fase ponte fra la specifica e la codifica
- La fase in cui si passa da “che cosa” deve essere fatto a “come” deve essere fatto
- Il suo prodotto si chiama architettura (o progetto) del sw

Progettazione: livello di astrazione

- Progettazione di alto livello (o architetturale)
 - Scopo la scomposizione di un sistema in sottosistemi:
 - identificazione e specifica delle parti del sistema e delle loro inter-connesioni
- Progettazione di dettaglio
 - decisione su come la specifica di ogni parte sarà realizzata

Definizione di architettura software

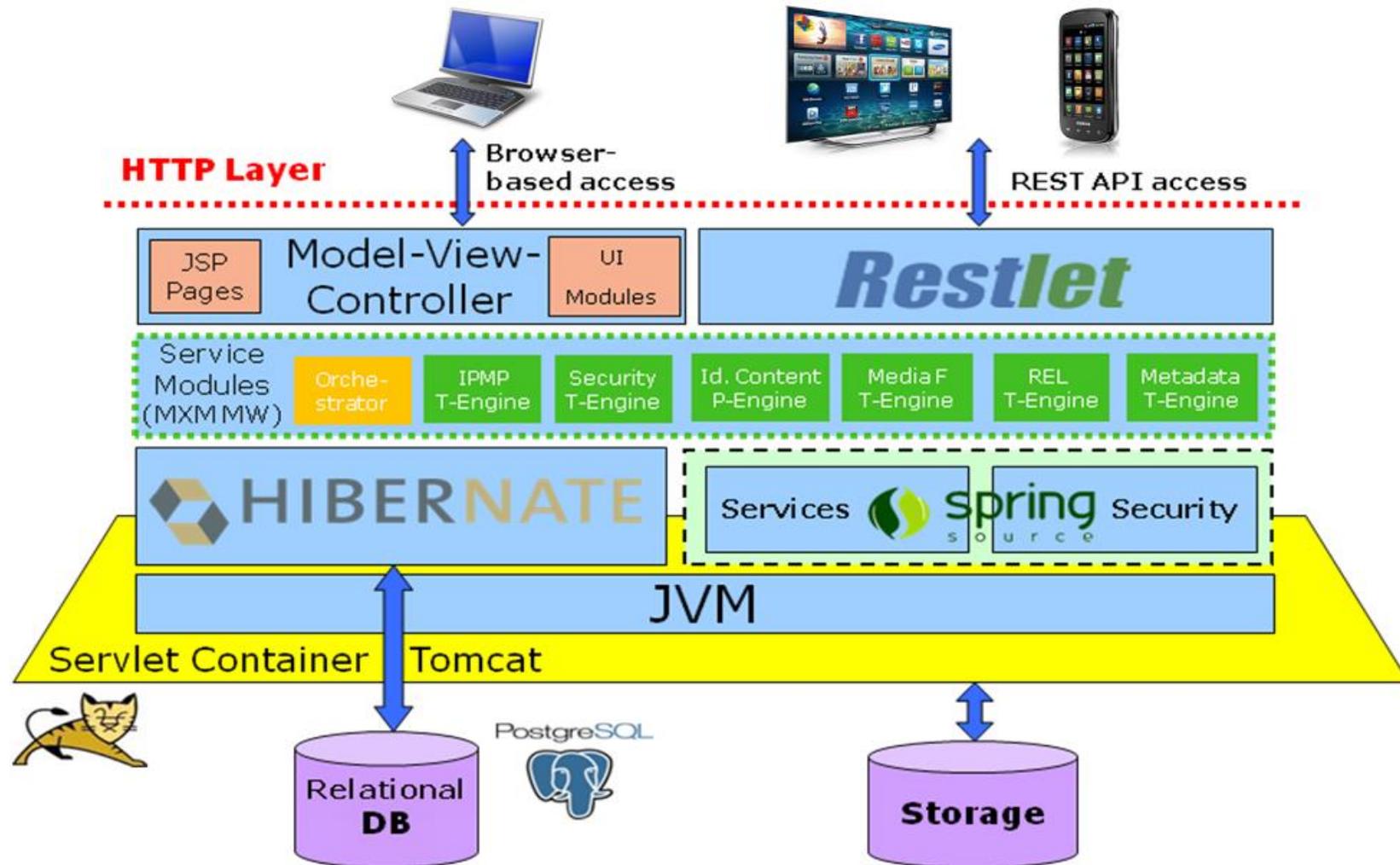
- L'architettura di un sistema software (in breve architettura software) è
 - la struttura del sistema, costituita
 - dalle parti del sistema,
 - dalle relazioni tra le parti e
 - dalle loro proprietà visibili.

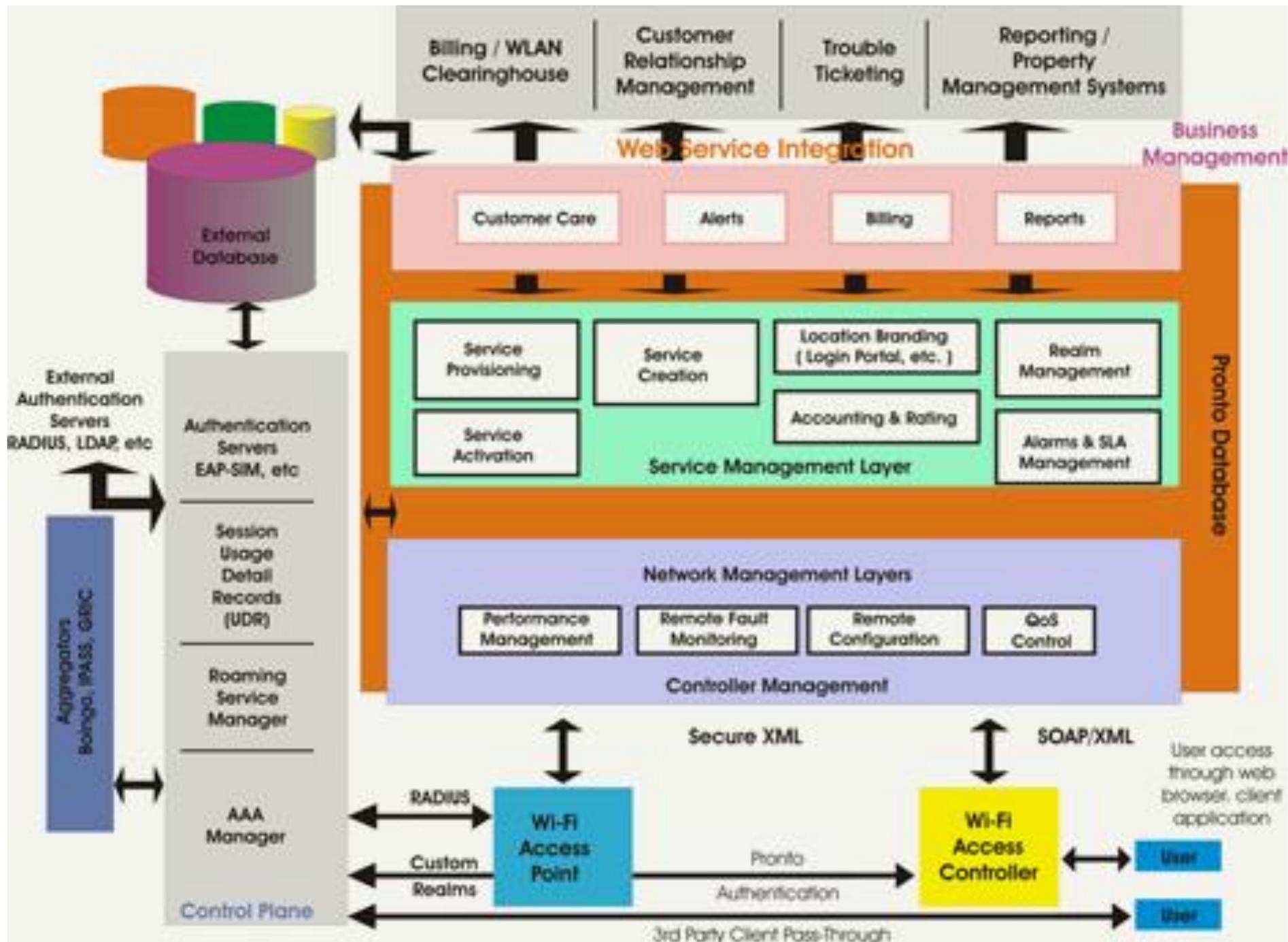
in altre/altrui parole

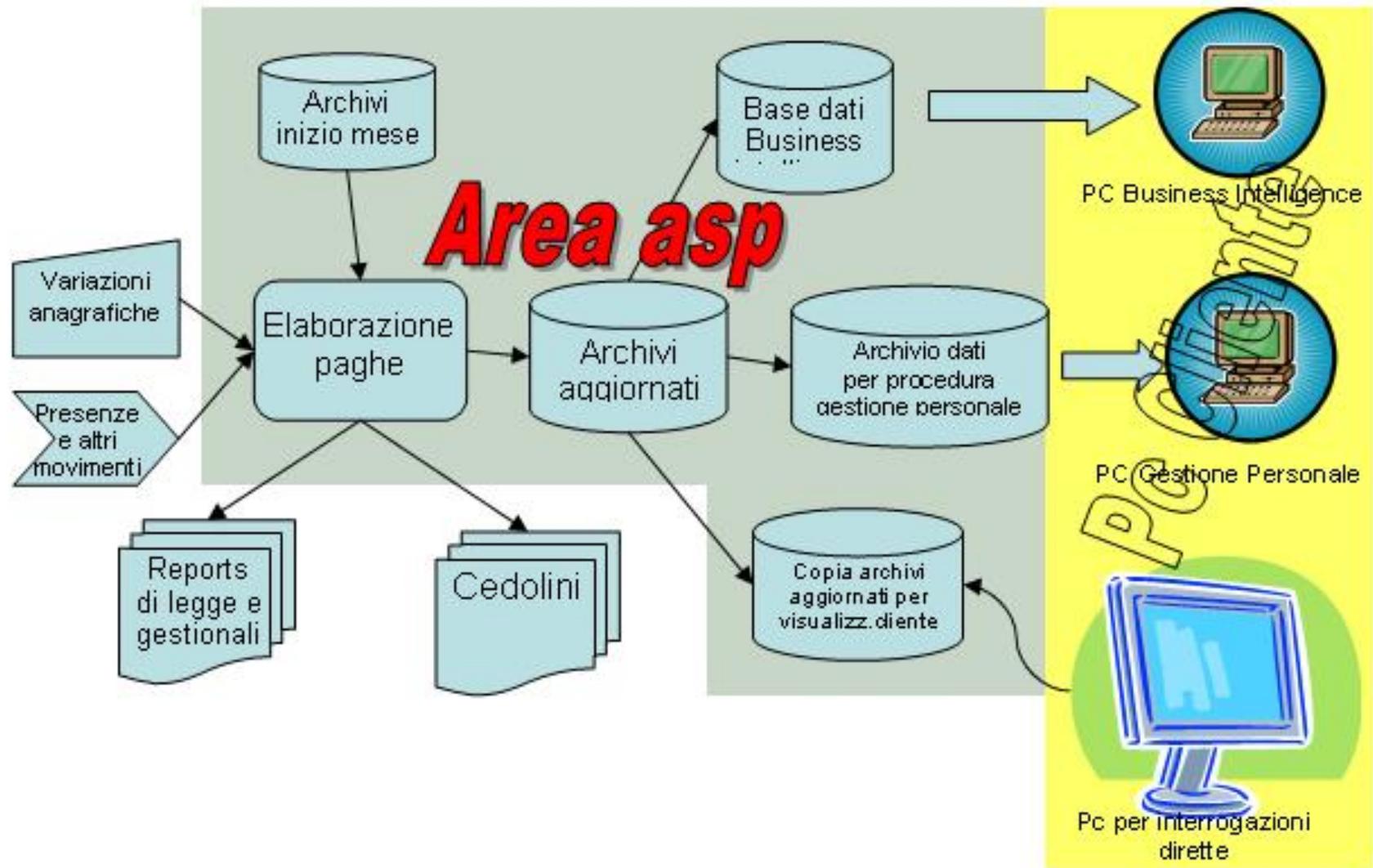
- **L'architettura**

- definisce la struttura del sistema sw
- specifica le comunicazioni tra componenti
- considera aspetti non funzionali
- è un'astrazione
- è un artefatto complesso
 - **problema di rappresentazione: Come si modella?**

Esempi di descrizioni che si possono trovare



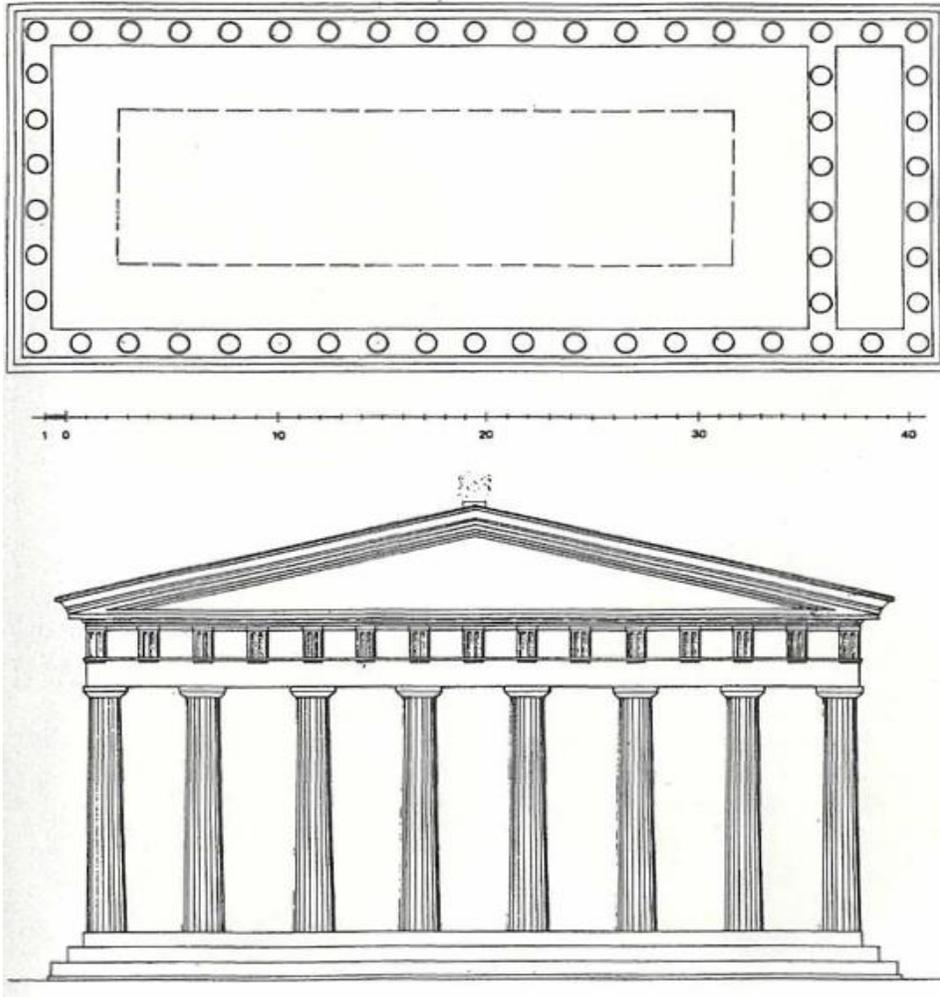




Per orientarci: una possibile analogia con l'ingegneria edile

- Il Disegno di Progetto permette di rappresentare agli altri l'architettura immaginata dal progettista:
 - si realizza graficamente tramite piante, prospetti e sezioni
 - con un linguaggio grafico standard

Linguaggio standard



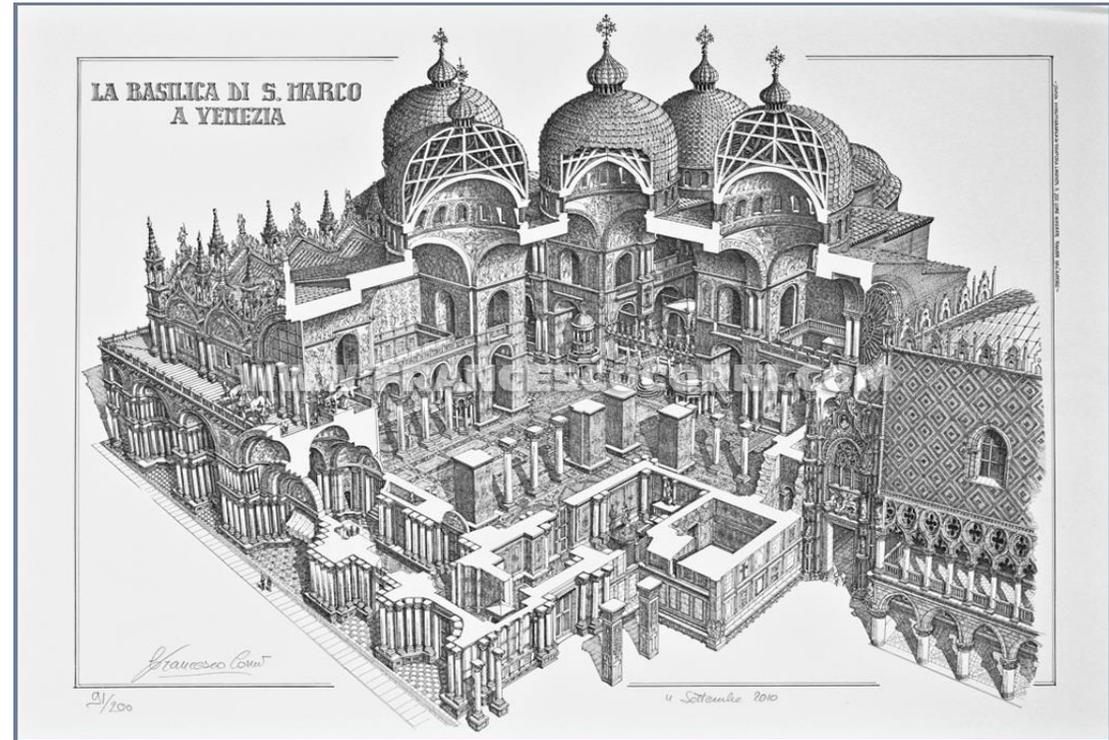
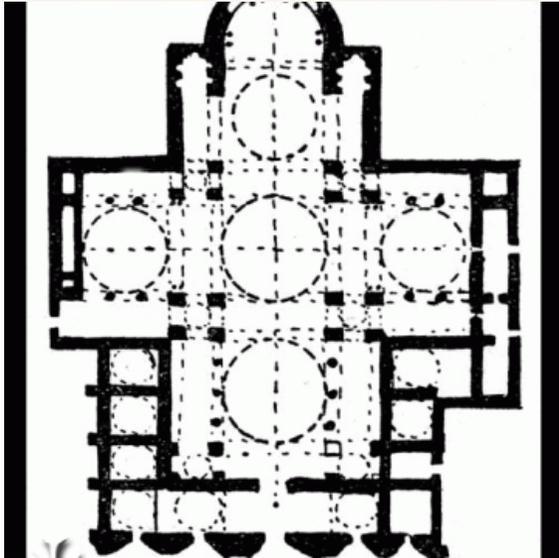
■ Pianta

- vista dall'alto
- proiezione sul piano xy

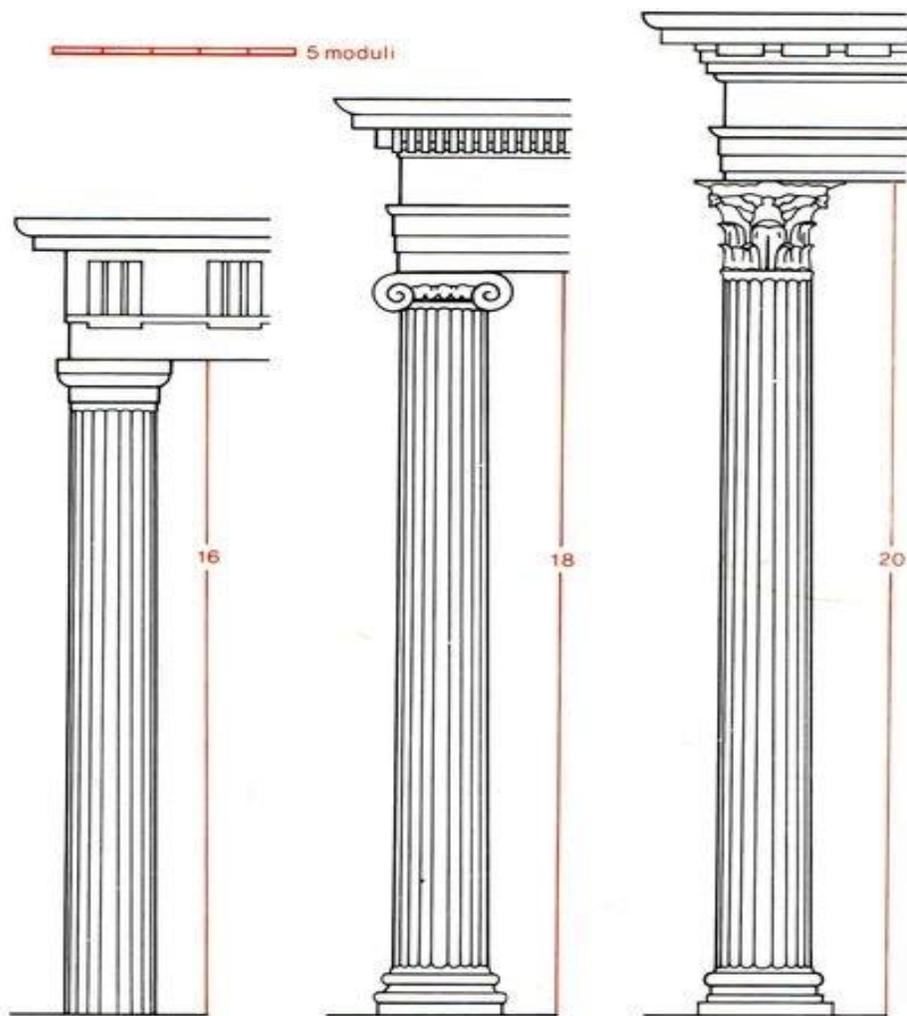
■ Prospetto

- vista frontale
- proiezione sul piano xz (o yz)

Diverse viste su un'architettura: proiezioni (prospetto e pianta) e spaccato



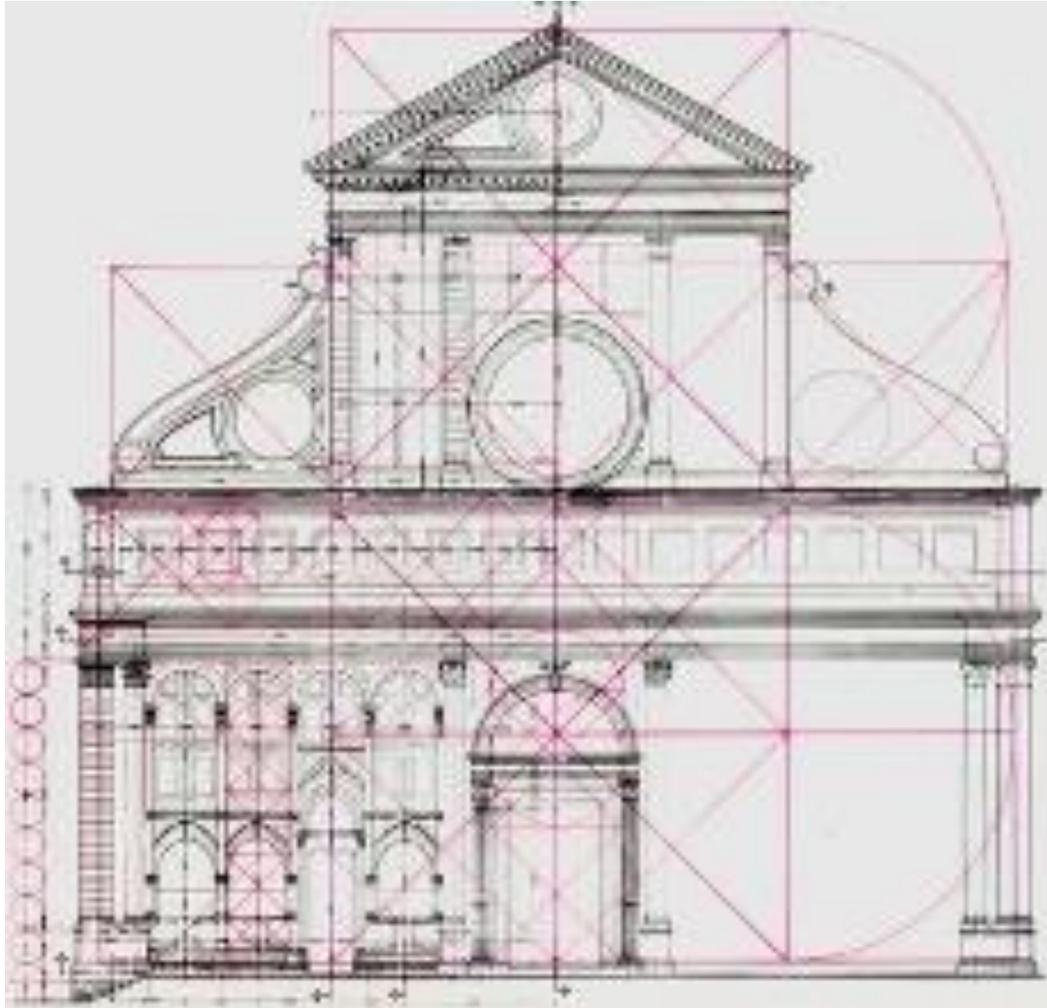
Ancora analogia: stessa vista, stili diversi



Nella costruzione di una colonna posso seguire uno degli **stili** noti

Nei casi in figura il criterio di scelta è guidato principalmente da considerazioni estetiche

Pattern: schemi di progettazione da applicare (esempi gli schemi proporzionali di Vitruvio o Alberti)



S. Maria Novella
L.B. Alberti

Torniamo al software: le viste

- Una vista su una architettura software è una sua astrazione secondo un aspetto di interesse
- Tre punti di vista simultanei sul sistema
 - **vista comportamentale (component-and-connector (C&C))**
 - la struttura come insieme di unità con comportamenti e interazioni, a tempo d'esecuzione
 - **vista strutturale**
 - la struttura come insieme di unità di realizzazione (codice)
 - **vista logistica (problemi di allocazione)**
 - le relazioni con strutture diverse dal software nel contesto del sistema

A cosa servono le diverse viste

■ Comportamentali

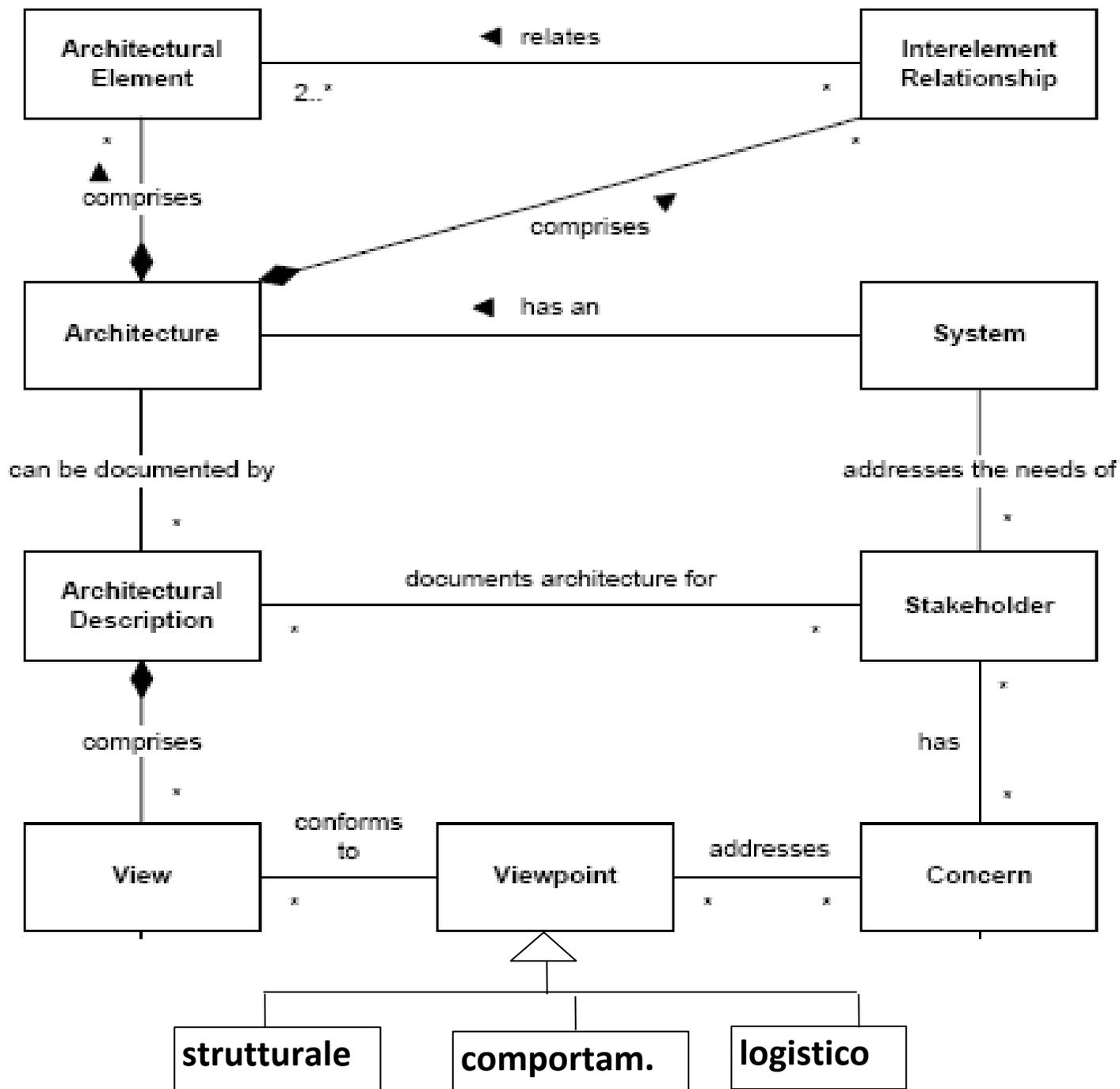
- Permette di valutare molti aspetti di qualità (scalabilità, efficienza, ...)

■ Strutturali

- Progettare test di unità e di integrazione
- Per esempio una vista strutturale a livelli permette di valutare la portabilità

■ Logistiche

- Per esempio una vista logica di “deployment” permette di valutare prestazioni e affidabilità



Viste di tipo comportamentale

Aka C&C aka componenti e connettori



Vista di tipo comportamentale (C&C)

- La vista C&C descrive un sistema software come composizione di componenti software
 - specifica i componenti con le loro interfacce
 - descrive le caratteristiche dei connettori
 - descrivere la struttura del sistema in esecuzione
 - flusso dei dati, dinamica, parallelismo, replicazioni, ...
- Utile per:
 - analisi delle caratteristiche di qualità a tempo d'esecuzione
 - prestazioni, affidabilità, disponibilità, sicurezza, ...

Componenti

■ Componente software

- È un'unità concettuale di decomposizione di un sistema a tempo d'esecuzione,
 - Per esempio: processo, oggetto, servente, deposito di dati, ...
- incapsula un insieme di funzionalità e/o di dati di un sistema
- restringe l'accesso a quell'insieme di funzionalità e/o dati tramite delle interfacce definite
- ha un proprio contesto di esecuzione
- può essere distribuito e installato in modo (possibilmente) indipendente da altri componenti

Componenti e Connettori

- Un sistema software è una composizione di componenti software
 - la composizione è basata sulla “connessione” di più componenti
 - realizzata sulla base delle interfacce dei componenti e
 - mediante l’ausilio di connettori

Componenti in UML



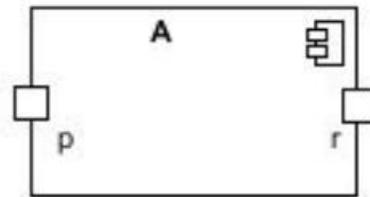
- Un componente è un classificatore
- Si rappresenta in uno di questi modi
 - Tutti equivalenti
 - il terzo modo è ridondante, ma è quello usato da Visual Paradigm

Porti

- I porti identificano i punti di interazione di un componente
 - un componente può avere più porti, uno per ogni tipo di connessione con altri componenti
 - un porto fornisce o richiede una o più interfacce (omogenee)
 - un porto è rappresentato con un «quadrato»
 - un porto può avere associata una molteplicità con l'usuale sintassi (1..n)

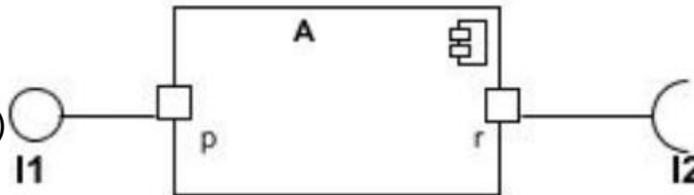


Porti e interfacce: notazione

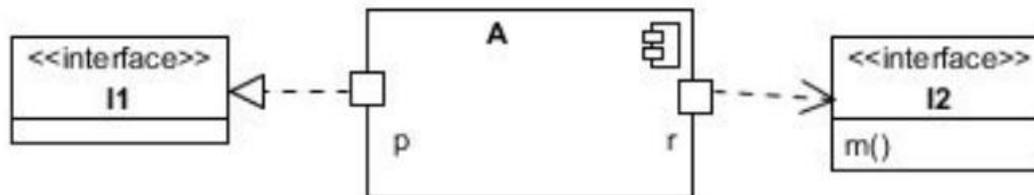


porti senza specifica di interfacce

porto con interfaccia fornita
(in forma sintetica con lollipop)



porto con interfaccia richiesta
(in forma sintetica con forchetta)

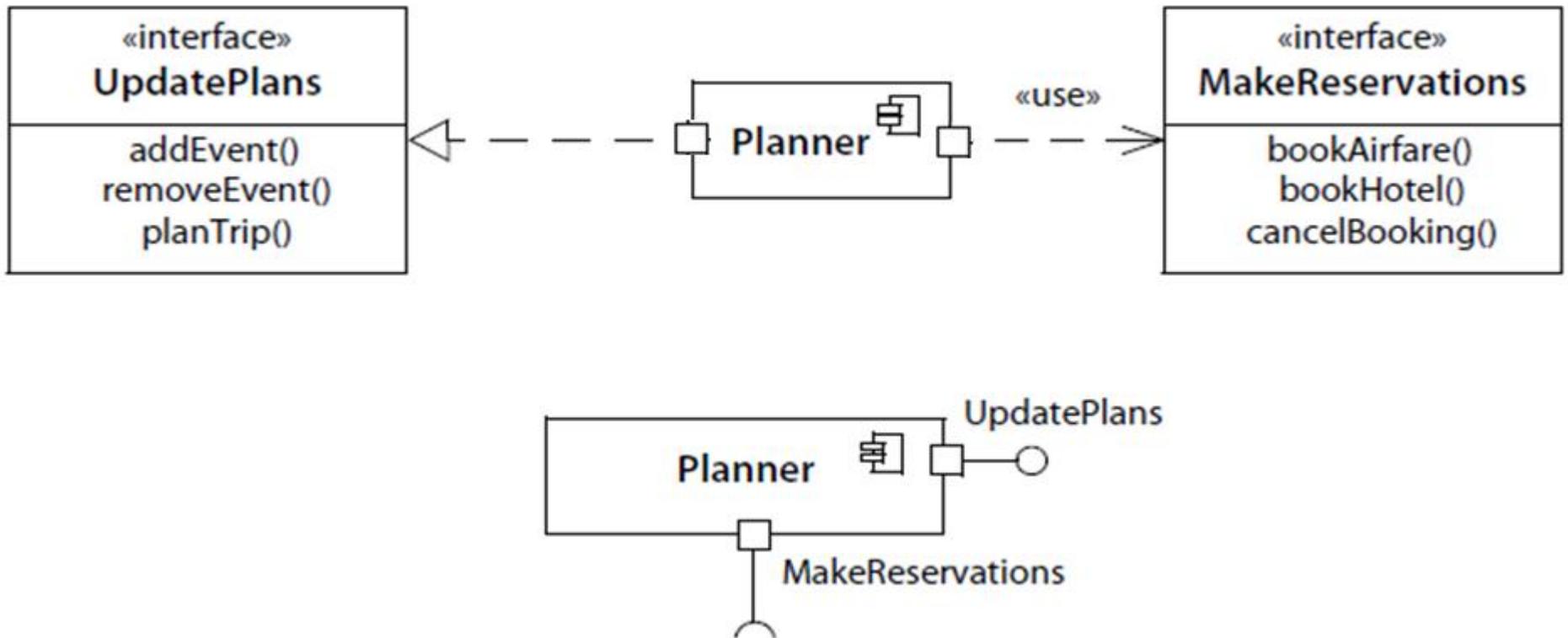


porto con interfaccia fornita
in forma estesa

porto con interfaccia richiesta
in forma estesa

Interfacce: descrizione sintetica vs estesa

Le interfacce sono descritte in modo sintetico con lollipop e forchette, oppure in modo esteso, per mostrare le operazioni richieste/offerte.

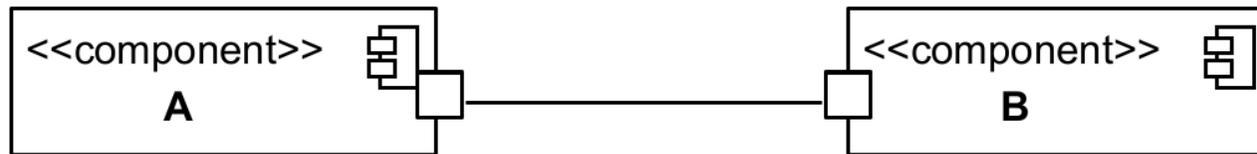


Connettori

- I connettori sono canali di interazione tra componenti che collegano i porti
- protocolli, flussi d'informazione, accessi ai depositi, ...

Connettori in UML

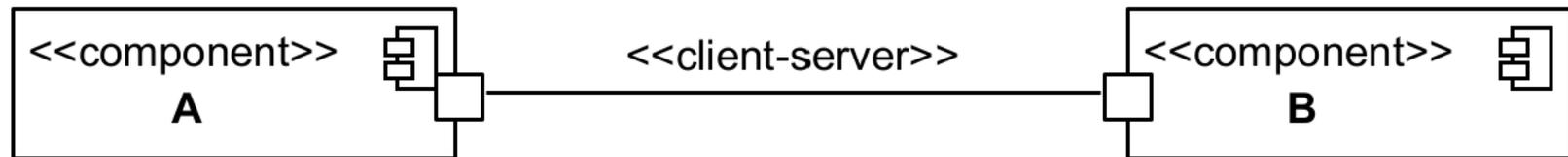
- I connettori collegano i porti



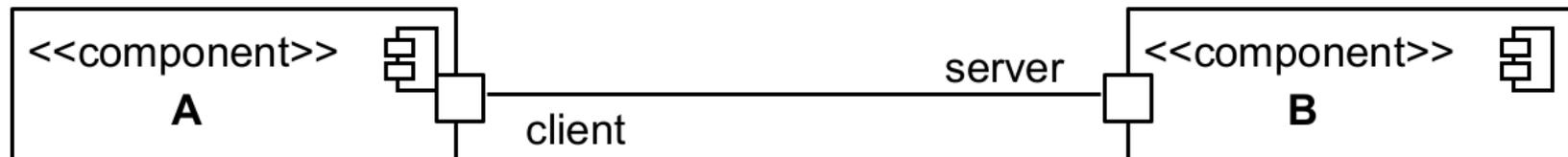
- In UML i connettori non hanno un descrittore specifico, si modellano con un'associazione
- Aggiungeremo poi informazione sullo **stile** della connessione usando stereotipi

Connettori in UML: stile del protocollo

- Per documentare il protocollo di interazione si usa uno stereotipo:
 - Esempi: <<clientServer>> ; <<dataAccess>> (specializzazione di clientServer) ; <<pipe>> ; <<peer2peer>> (<<p2p>>); <<publish-subscribe>>

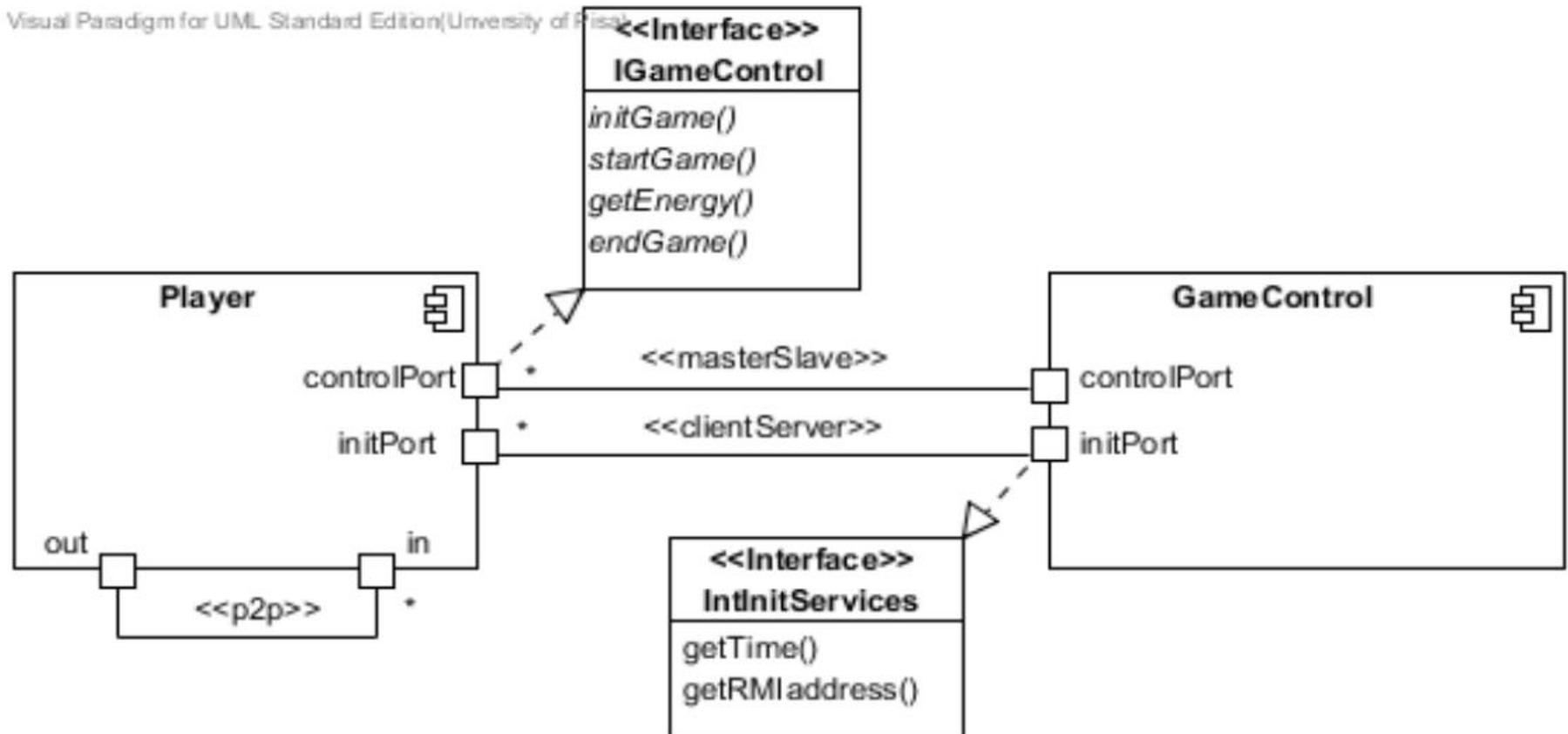


- Oppure si indicano i ruoli delle componenti:



Un esempio

Visual Paradigm for UML Standard Edition (University of Pisa)



Stili (o schemi) architetturali

- Uno stile è una proprietà di una architettura
- Uno stile caratterizza una famiglia di architetture con caratteristiche comuni
 - stile a macchine virtuali: i moduli definiscono macchine virtuali
 - stile client-server: caratterizzato da particolari interazioni tra componenti

Stili (o schemi) architetturali e vista C&C

- Le funzionalità di componenti interagenti e le caratteristiche delle interazioni tra componenti spesso rispondono a stili (schemi) standard
- Nella vista C&C uno stile architettonico è caratterizzato da:
 - caratteristiche generali delle componenti in gioco
 - particolari interazioni tra le componenti,
 - e quindi dalle caratteristiche dei porti e dei connettori
- Vedremo gli stili di uso comune
 - Le loro caratteristiche
 - Un modo per documentarli

Stili architetturali: condotte e filtri

■ Componenti

- **sono di tipo filtro**: trasformano uno o più flussi di dati dai porti d'ingresso in uno o più flussi sui porti d'uscita

■ Connettori

- **sono di tipo condotta (pipe)**: canale di comunicazione unidirezionale bufferizzato che preserva l'ordine dei dati dal ruolo d'ingresso a quello d'uscita

■ Usi

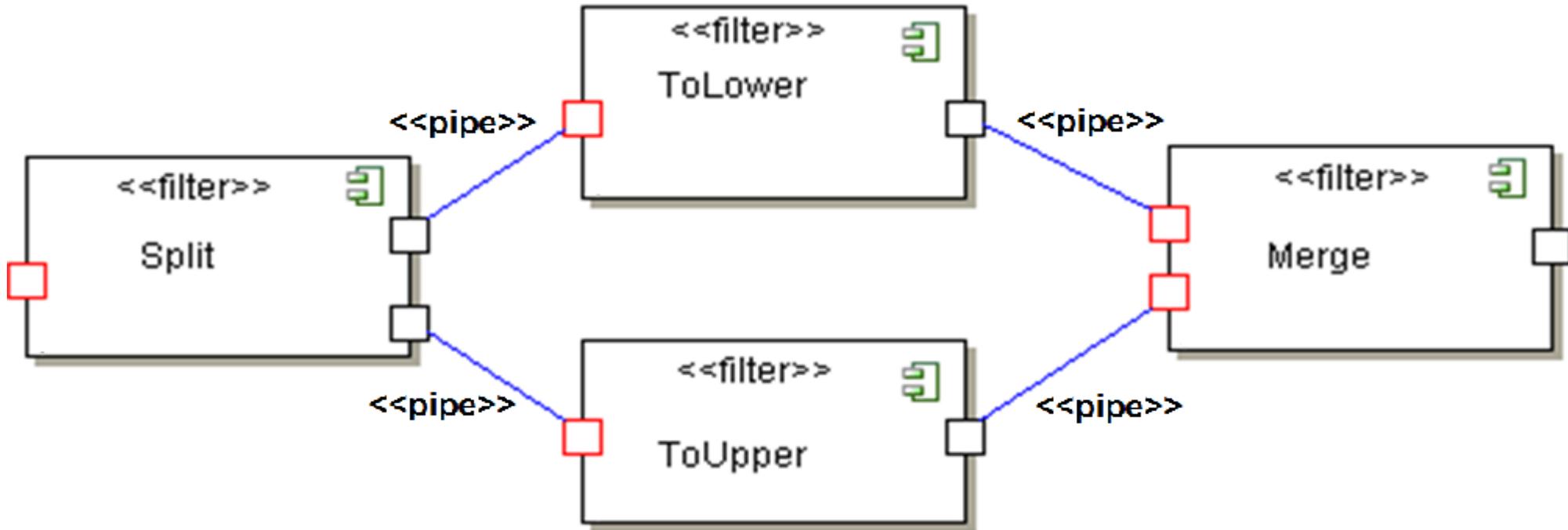
- pre-elaborazione in sistemi di elaborazione di segnali
- analisi dei flussi dei dati, e.g. dimensioni dei buffer

Esempio: pipe and filter



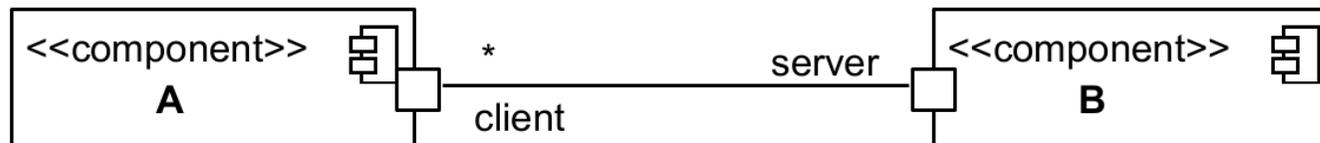
Esempio: Pipe and filter

Per esempio «ciao» o «CIAO» o «Ciao» viene trasformato in «claO»



Stile client-server

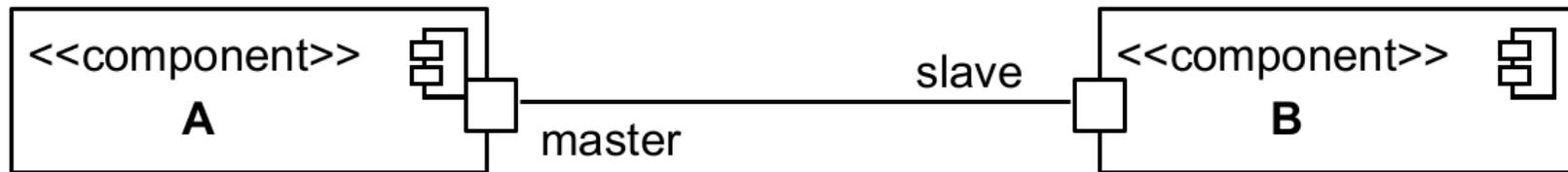
- Il sistema è formato da due componenti: il client e il server
 - spesso, ma non necessariamente, eseguiti su macchine diverse collegate in rete



- Il server svolge le operazioni necessarie per realizzare un servizio:
 - ad esempio gestisce una banca dati,
 - gestisce l'aggiornamento dei dati e la loro integrità,....
- Aspetta le richieste dei client a un porto
 - Ci possono essere tanti clienti
- Un client invia al server le richieste ed attende una risposta

Stile master-slave

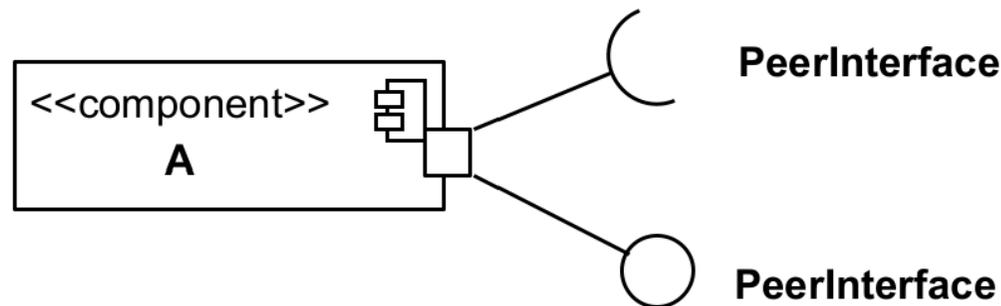
- Un caso particolare del client-server, ma risponde a esigenze diverse



- Il servente (slave) serve un solo cliente (master)
- Architettura usata per esempio nella replica di database, il database master è considerato come fonte autorevole e i database slave sono sincronizzati con esso

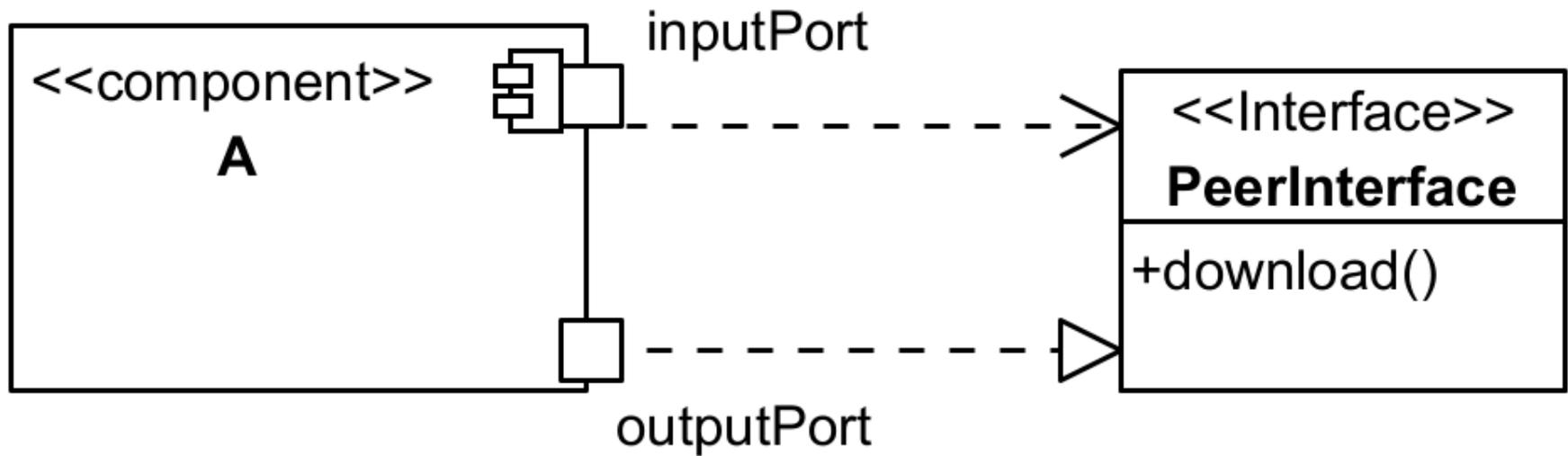
Stile P2P (peer to peer)

- Da pari a pari (peer to peer)
 - caso particolare di client server
 - tutti i componenti agiscono sia da client sia da server.
 - Es: i programmi di scambi audio e video (WinMx, Kazaa, eMule, ecc.)
 - Scambio di servizi alla pari



- C'è una sola componente nello schema perché i peer sono tutte sue istanze

P2P



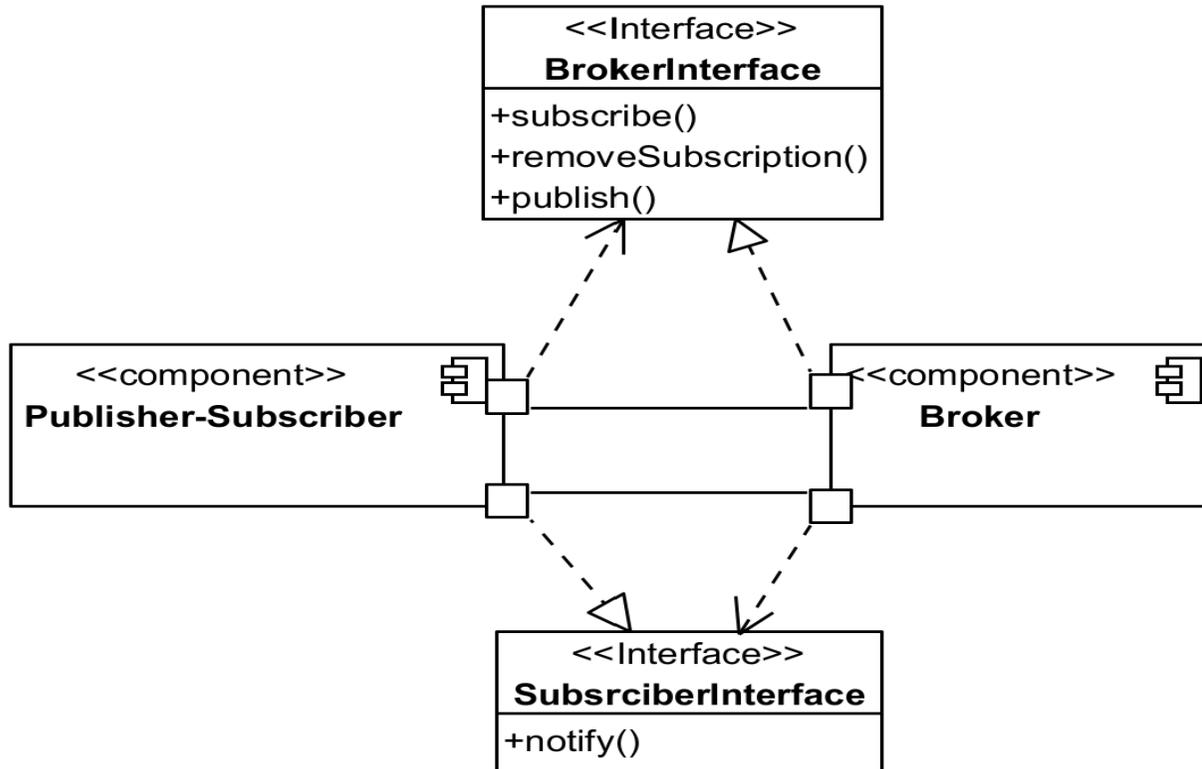
Stile Publish-Subscribe

- I componenti interagiscono annunciando eventi:
 - Un componente si “abbona” a classi di eventi rilevanti per il suo scopo
 - Ciascuna componente, volendo, può essere sia produttore che consumatore di eventi

- Disaccoppia produttori e consumatori di eventi e favorisce le modifiche dinamiche del sistema

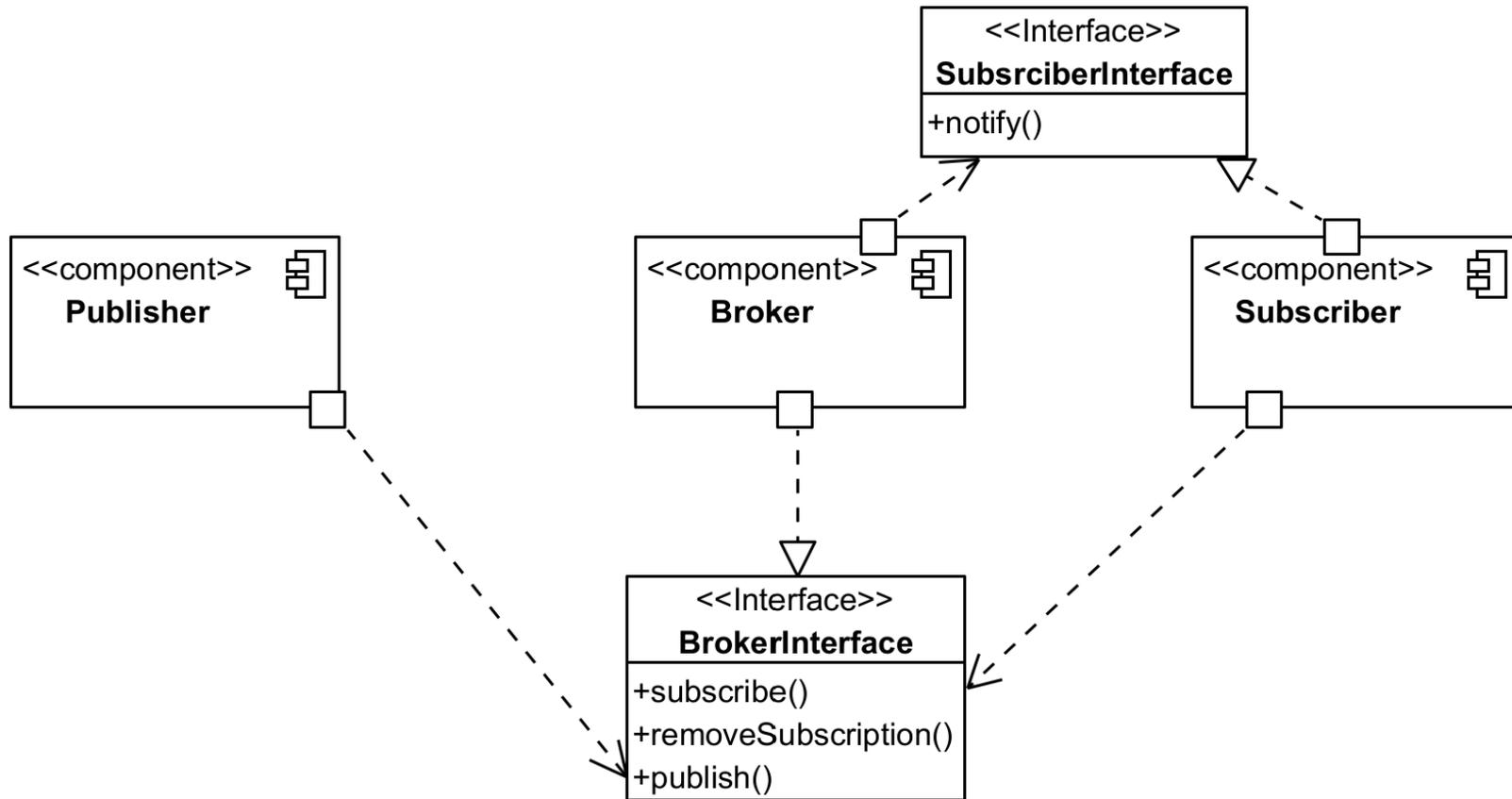
Stile Publish-Subscribe

- Un componente può essere in generale sia publisher che subscriber
- Due diversi connettori, uno per le richieste di sottoscrizione e per richieste di pubblicazione, uno per diffondere i dati



Stile Publish-Subscribe

Publisher e subscriber possono essere componenti distinte

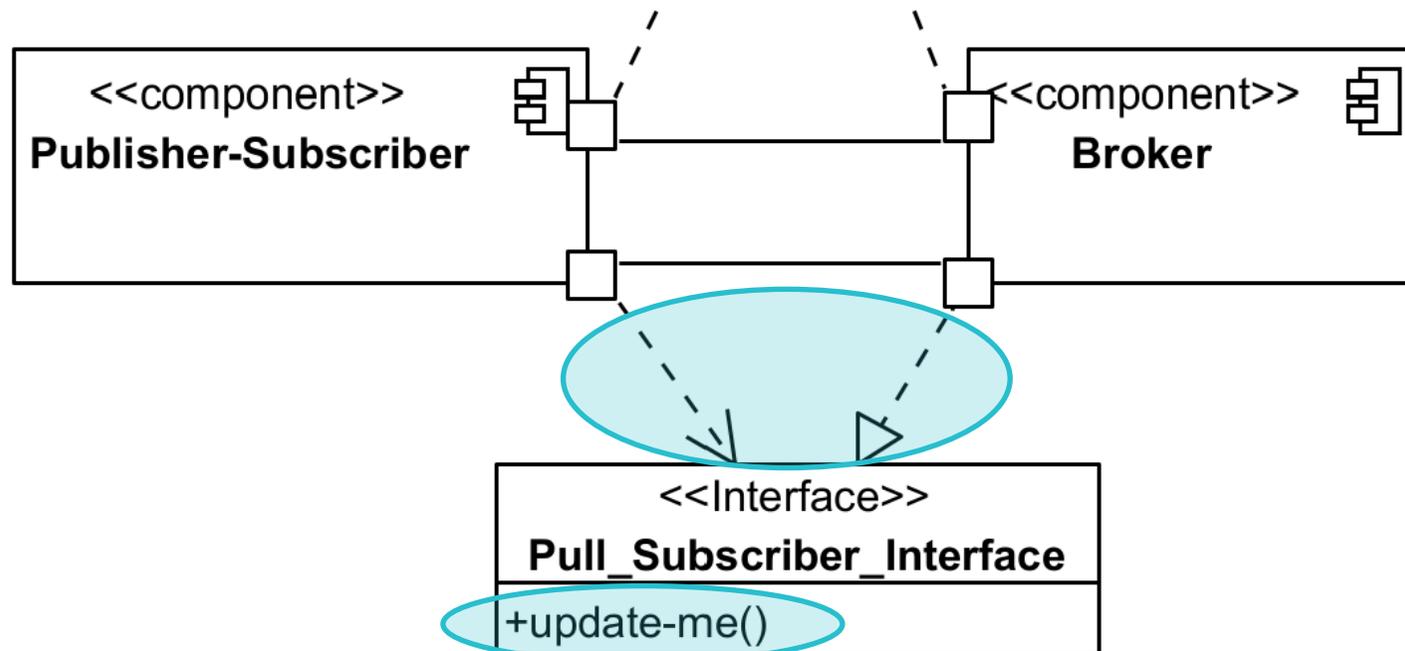


Stile Publish-Subscribe

- In questo stile, mittenti e destinatari di messaggi dialogano attraverso un tramite, che detto dispatcher o broker.
- Il mittente di un messaggio (detto publisher) non deve essere consapevole dell'identità dei destinatari (detti subscriber); esso si limita a "pubblicare" (to publish) il proprio messaggio al dispatcher.
- I destinatari si rivolgono a loro volta al dispatcher "abbonandosi" (to subscribe) alla ricezione di messaggi. Il dispatcher quindi inoltra ogni messaggio inviato da un publisher a tutti i subscriber interessati a quel messaggio.
- In genere, il meccanismo di sottoscrizione consente ai subscriber di precisare nel modo più specifico possibile a quali messaggi sono interessati. Per esempio, un subscriber potrebbe "abbonarsi" solo alla ricezione di messaggi da determinati publisher, oppure aventi certe caratteristiche.
- Questo schema implica che ai publisher non sia noto quanti e quali sono i subscriber e viceversa. Questo può contribuire alla scalabilità del sistema.

Stile Publish-Subscribe modalità pull

La diffusione può avvenire anche in modo pull



Modello push o pull ?

- Modello push
 - Il broker invia attivamente i messaggi ai consumatori
 - È complicato per il broker trattare con diversi tipi di consumatori, in quanto controlla la frequenza con cui i dati vengono trasferiti
 - Deve decidere se inviare un messaggio immediatamente o se accumulare più dati e inviare
- Modello pull
 - Il consumatore si assume la responsabilità di recuperare i messaggi dal broker
 - Il consumatore deve mantenere un valore che identifica il prossimo messaggio successivo da trasmettere ed elaborare
 - Pro: migliore scalabilità (minore onere per i broker) e flessibilità (consumatori diversi con esigenze e capacità diverse)
 - Contro: nel caso in cui il broker non disponga di dati, i consumatori potrebbero essere occupati in attesa dell'arrivo dei dati

Publish-Subscribe: middleware

- Reti: comunicazioni multicast con algoritmi di flooding
- Apache Kafka
- Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) realizza sia comunicazioni punto-a-punto che publish-and-subscribe

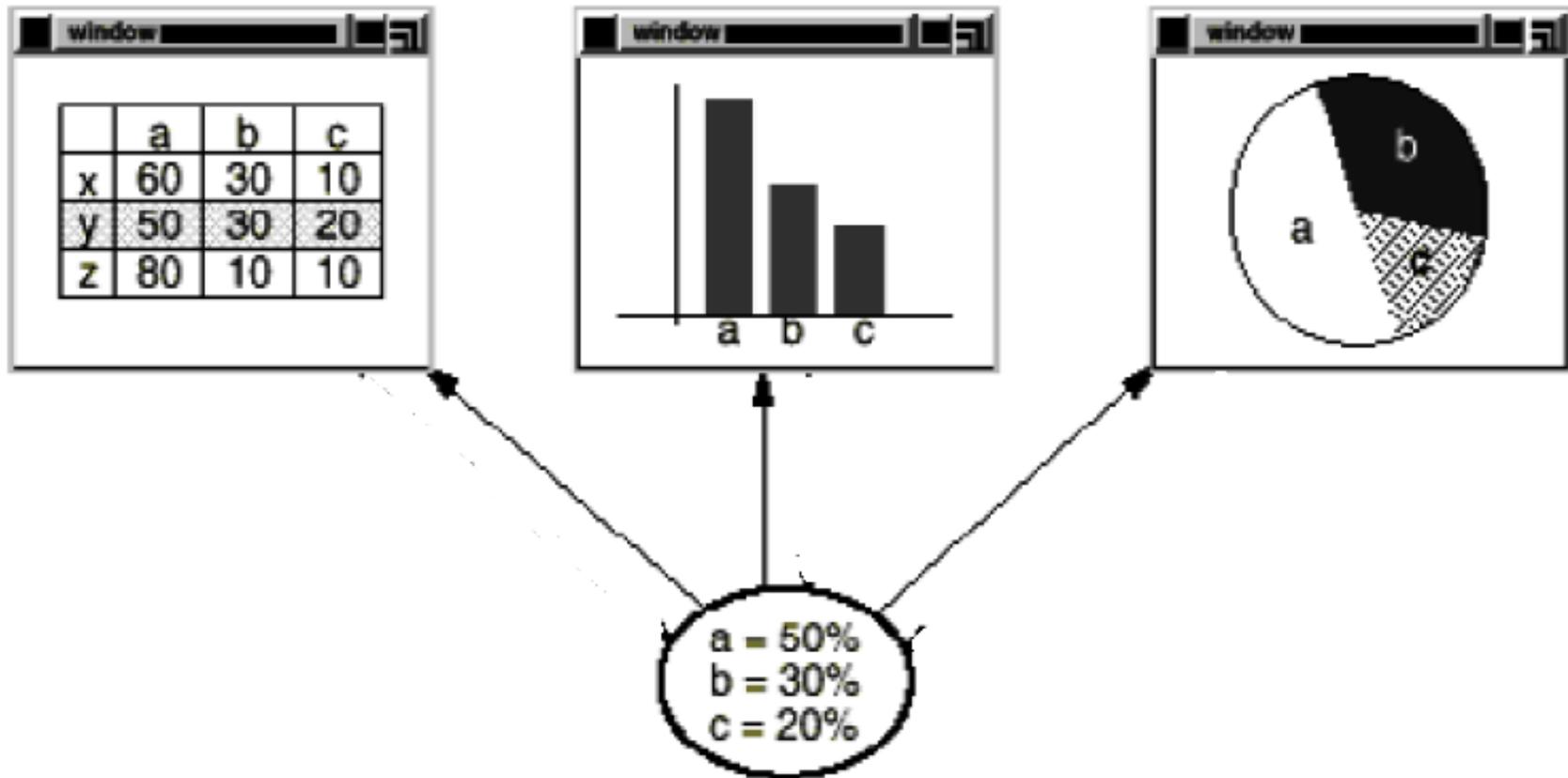
Publish-Subscribe: DDS

- Data Distribution Service (DDS) è un middleware standardizzato basato sul paradigma publish-subscribe, che aiuta lo sviluppo di livelli middleware per la comunicazione machine-to-machine.
 - E' parte integrante di molti sistemi embedded e di applicazioni con requisiti in tempo reale.
 - Mantenuto dall'Object Management Group (OMG),7 DDS è utilizzato in tutte le classi di applicazioni critiche per implementare un livello di comunicazione affidabile tra sensori, controllori e attuatori.
 - Usato, per esempio da
 - NASA
 - Siemens per gli impianti eolici
 - Volkswagen e Bosch per i sistemi di parcheggio autonomo
 - Dal punto di vista del programmatore, DDS è una application programming interface (API). Supporta serializzazione e deserializzazione di qualsiasi tipo di dati built-in o custom attraverso un linguaggio di definizione dell'interfaccia (IDL) dedicato.

Stile Model-View-Controller (MVC)

- Stile in cui si isola la logica di business dal controllo sull'input e dalla presentazione (vista sui dati), consentendo sviluppo indipendente, test e manutenzione di ciascuno.
- Modello
 - È la rappresentazione del modello dei dati su cui opera l'applicazione. Quando un modello cambia il suo stato, notifica le sue viste associate in modo che si possano aggiornare.
- Vista
 - Rende il modello in una forma adatta all'interazione, in genere un elemento dell'interfaccia utente. Ci possono essere più viste per un singolo modello, per scopi diversi.
- Controllore
 - Riceve l'input e effettua chiamate agli oggetti del modello.

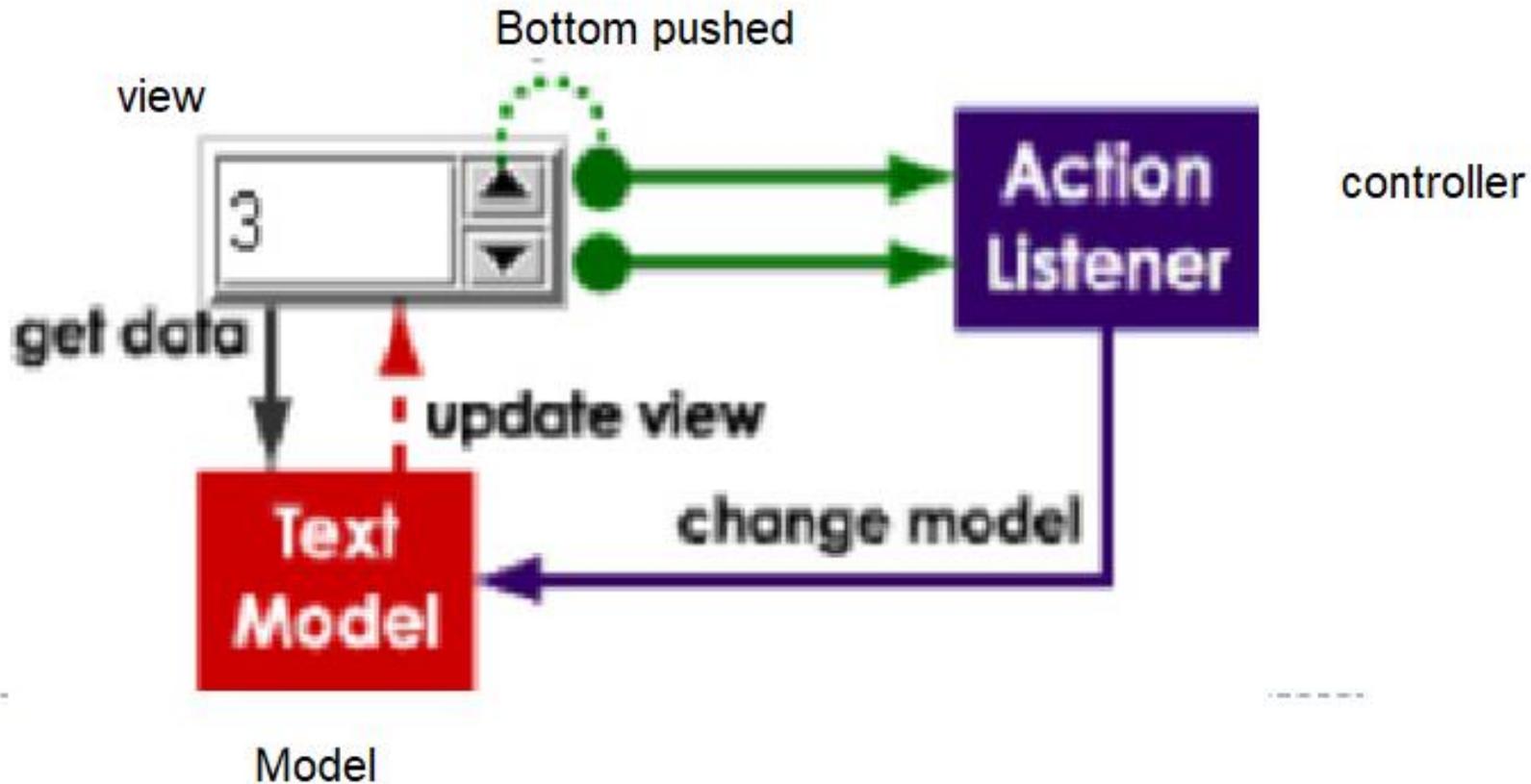
Un modello, diverse visualizzazioni



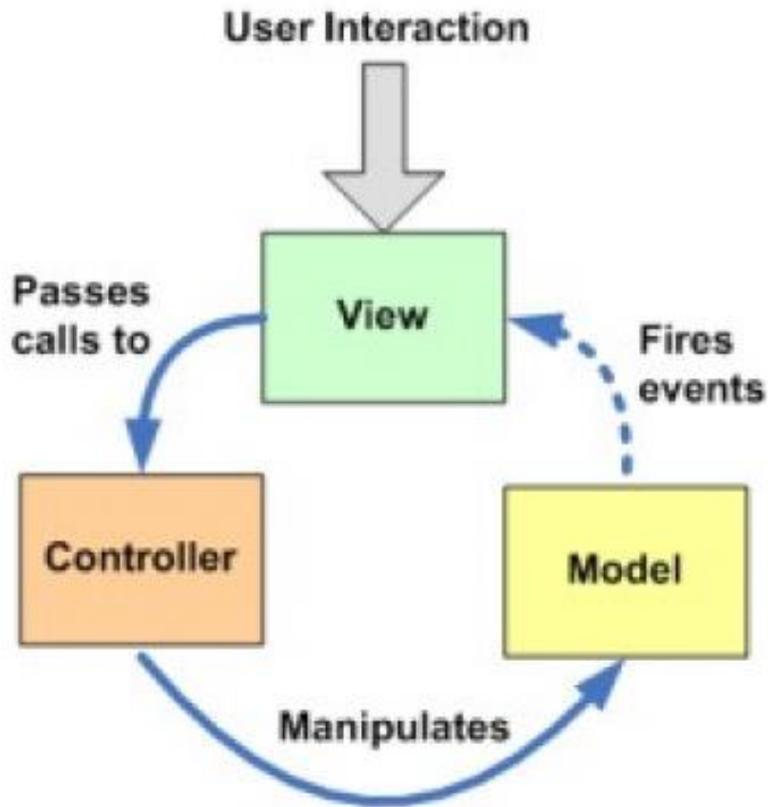
Model-View-Controller

- L'utente interagisce con la vista
- Il controller riceve le azioni dell'utente e le interpreta
 - Se si fa clic su un pulsante, è compito del controllore capire che cosa significhi e come il modello dovrebbe essere manipolato in base a tale azione.
- Il controller chiede al modello di cambiare il suo stato
- Il modello notifica la vista quando il suo stato è cambiato
 - Quando qualcosa cambia nel modello, in risposta a qualche azione (es. fare clic su un pulsante) o per altri motivi (es. è iniziato il brano successivo nella playlist), il modello notifica alla vista che il suo stato è cambiato.
- La vista chiede lo stato al modello
 - Per esempio, se il modello notifica la vista che è iniziata un nuovo brano, la vista richiede il nome del brano al modello e lo mostra.

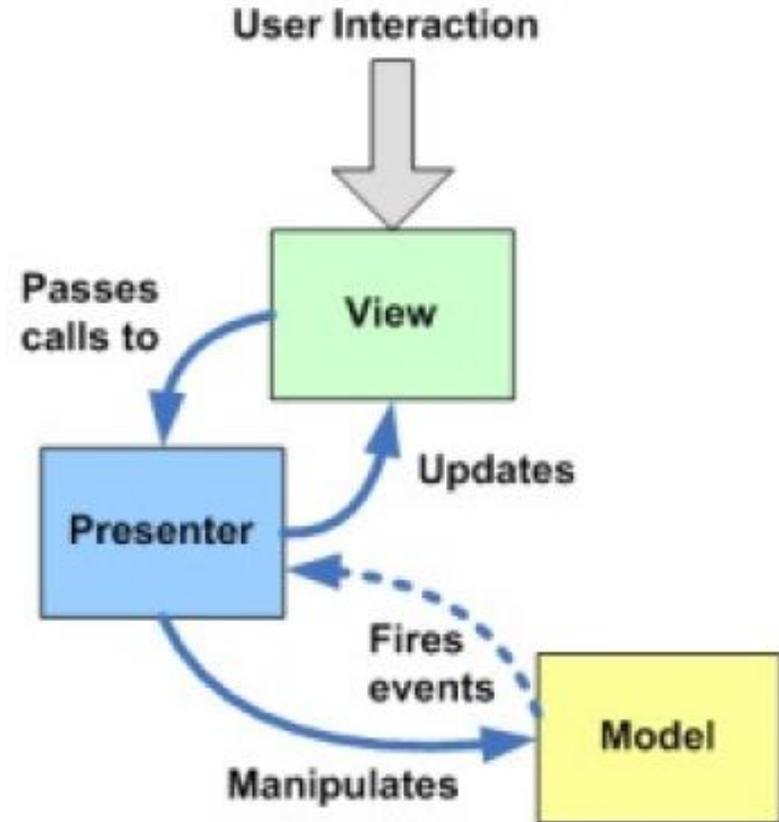
Model-View-Controller: esempio



Model-View-Controller vs Model-View-Presenter



Model-View-Controller



Model-View-Presenter

Stile: coordinatore di processi

- Il Coordinatore di processi conosce la sequenza di passi necessari per realizzare un processo.
 - Riceve la richiesta, chiama i servers secondo l'ordine prefissato, fornisce una risposta
- Normalmente usato per realizzare processi complessi
- Disaccoppiamento: i server non conoscono il loro ruolo nel processo complessivo né l'ordine dei passi del processo. Ogni server semplicemente definisce un servizio
- Comunicazione flessibile: sincrona o asincrona.

Homework

- Fornire rappresentazione UML per gli stili MVC, MVPresenter e Coordinatore di processi

Viste di tipo strutturale



4 viste diverse di tipo strutturale

- In comune gli elementi (nodi del diagramma)
 - **Modulo**: unità di software che realizza un insieme coerente di responsabilità
 - Esempio: classe, collezione di classi, un livello.
- Si differenziano per le relazioni tra elementi
 - **parte di, eredita da, dipende da, può usare**
 - Le 4 viste strutturali sono caratterizzate da questi 4 tipi di relazione

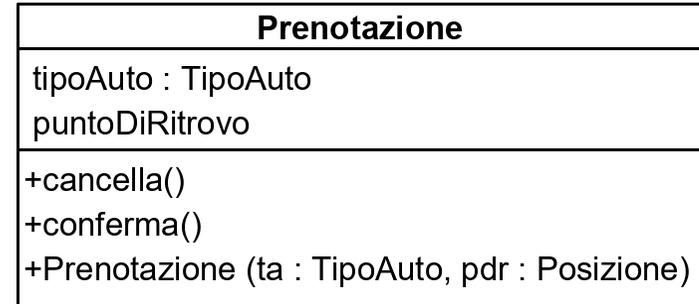
Viste di tipo strutturale

- A cosa servono
 - costruzione
 - la vista può fornire lo schema del codice e directory e file sorgente hanno una struttura corrispondente
 - analisi
 - tracciabilità dei requisiti
 - analisi d'impatto per valutare eventuali modifiche
 - comunicazione
 - se la vista è gerarchica, offre una presentazione top-down della suddivisione delle responsabilità nel sistema ai novizi
 - progettazione dei test di unità e di integrazione
- Non utili per:
 - analisi dinamiche, fatte invece con viste comportamentali e logistiche

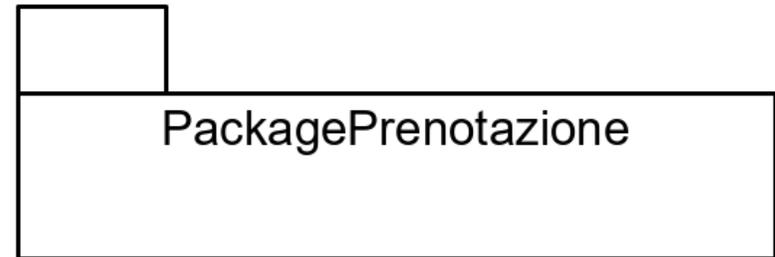
UML per documentare la vista strutturale

■ classi

- Rispetto alla descrizione del dominio, più spazio alla specifica delle operazioni



■ packages



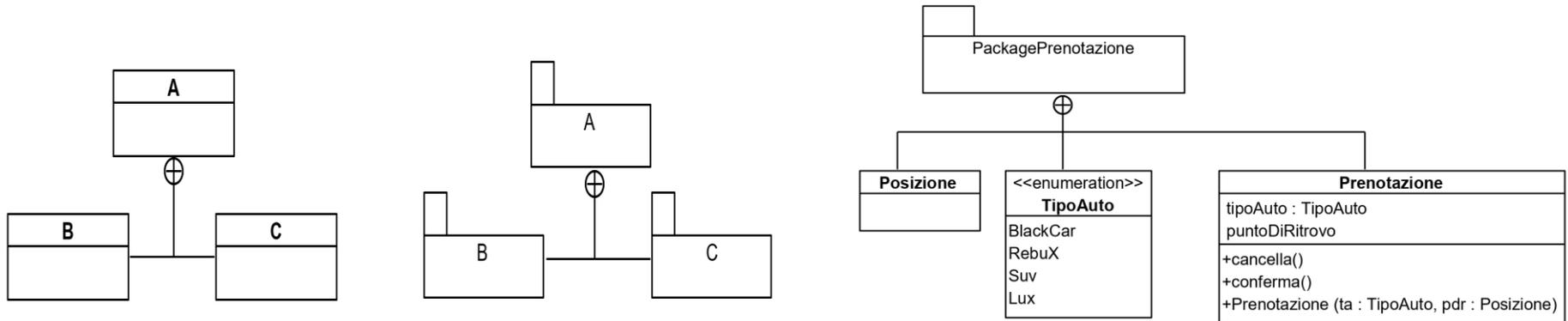
- ## ■ relazioni tra classi, tra packages e tra classi e packages:
- contenimento, dipendenze, generalizzazione....

Vista strutturale di decomposizione

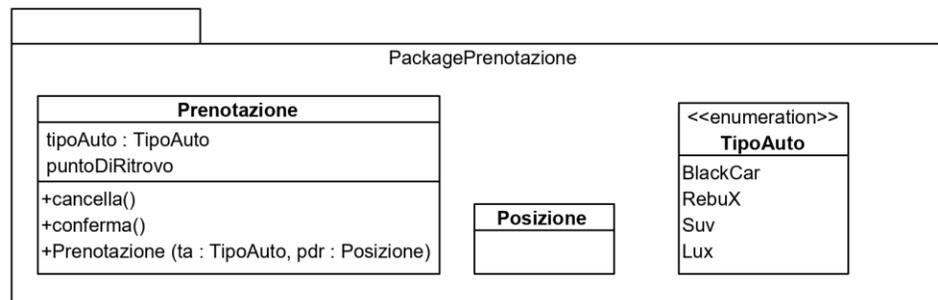
- Relazione: “parte di”
 - una classe fa parte di (è contenuta in) un package,
 - un package fa parte di uno più grande
- Criteri per raggruppare
 - incapsulamento per modificabilità
 - supporto alle scelte costruisci/compra
 - moduli comuni in linee di prodotto
- A cosa serve questa vista
 - apprendimento del sistema
 - punto di partenza per l’allocazione del lavoro

Notazione UML per documentare la vista di decomposizione

La relazione «parte di» è resa con \oplus



oppure con inclusione grafica (in un package)



Vista strutturale d'uso

■ Relazione “usa”

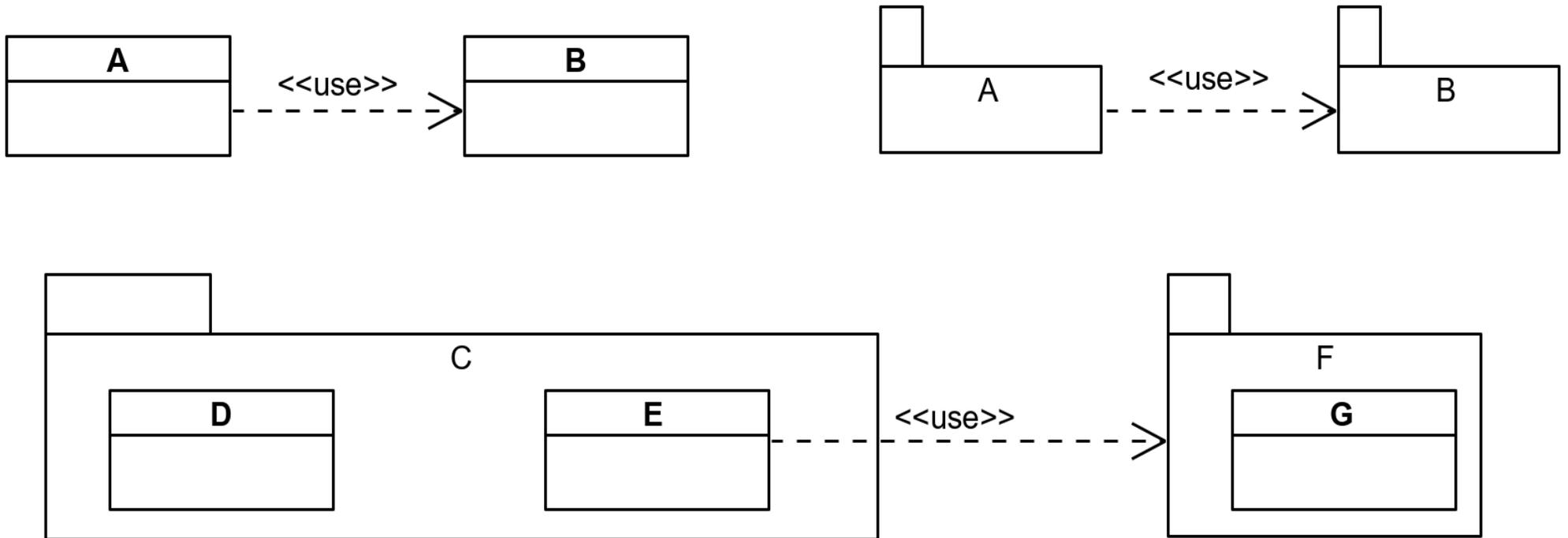
- il modulo A usa il modulo B se dipende dalla presenza di B (funzionante correttamente) per soddisfare i suoi requisiti
 - Attenzione a non confondere invocazione con dipendenza: un modulo A che segnala un errore a B funziona correttamente indipendentemente da cosa fa il modulo B che riceve la segnalazione, per cui lo invoca, ma non lo usa, quindi non è suo cliente in una dipendenza.
- cicli permessi ma pericolosi

■ A cosa serve

- pianificazione di sviluppo incrementale
- test di unità e di integrazione

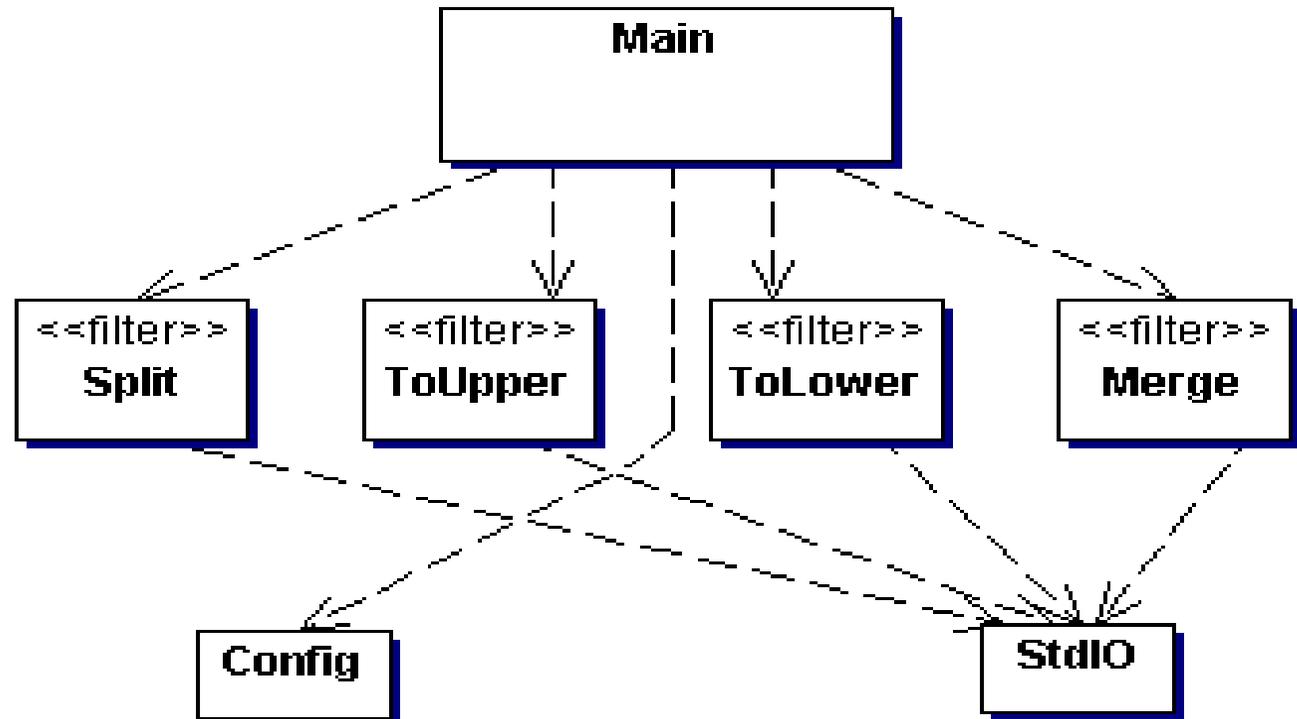
Notazione UML per documentare la vista d'uso

Usando una dipendenza etichettata con lo stereotipo «use»



Vista strutturale d'uso: esempio (Abbiamo già descritto la vista C&C)

- i filtri si chiamano tra loro, ma non si usano
- il main li configura per metterli in comunicazione via StdIO (realizzazione del connettore pipe)
- suggerisce anche una vista a strati (see later)



Vista degli usi
(tutte le dipendenze
sono <<uses>>)

Vista strutturale a strati (macchine virtuali)

■ Elementi: strati

- uno strato è un insieme coeso di moduli
 - a volte raggruppati in segmenti
- offre un'interfaccia pubblica per i suoi servizi (macchina virtuale)

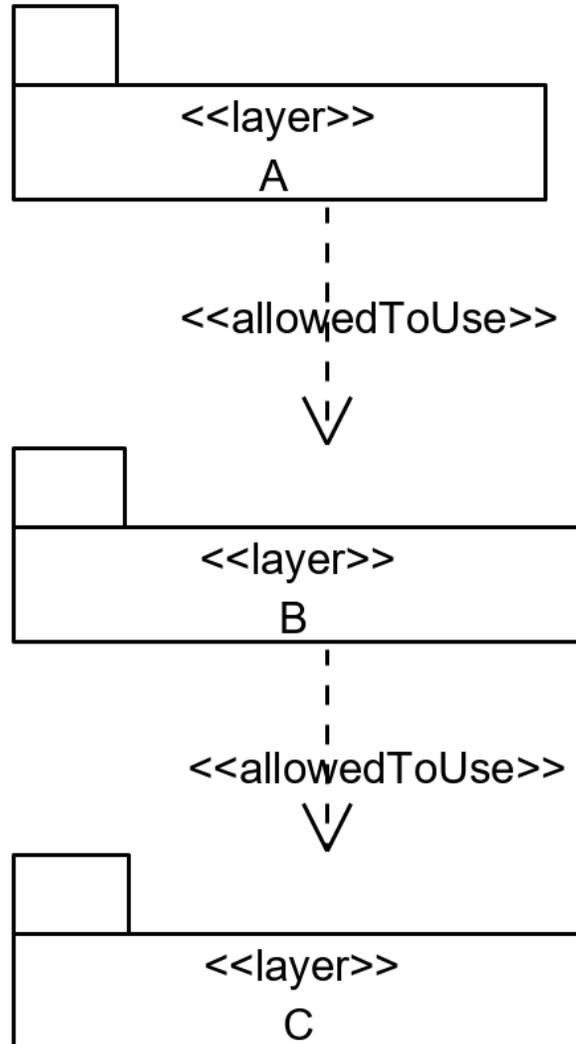
■ Relazione: può usare

- Caso particolare di relazione d'uso
 - antisimmetrica
 - non implicitamente transitiva

■ A cosa serve

- modificabilità e portabilità
- controllo della complessità

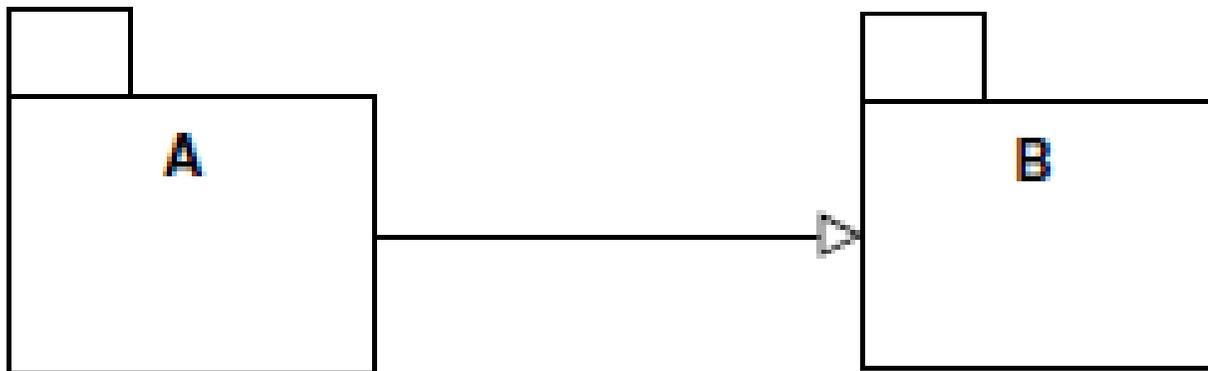
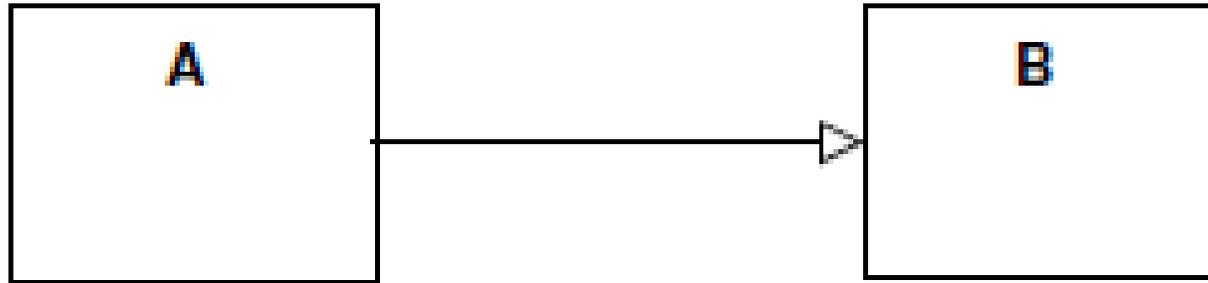
Notazione UML per documentare la vista a strati



Vista strutturale di generalizzazione

- Elementi: moduli (classi o packages)
- Relazione: generalizzazione
- A cosa serve;
 - A rappresentare la relazione tipo-sottotipo (tra classi)
 - A rappresentare la relazione tra un framework (collezione di classi, anche astratte, con relazioni d'uso tra loro) e una sua specializzazione (tra packages)

Notazione UML per documentare la vista di generalizzazione



Esempio

Module	Module Type	Used Module
APP-1	Application	ALGO-1, ALGO-2, ALGO-3
APP-2	Application	ALGO-3, ALGO-4
ALGO-1	Algorithm	DATA-1, DATA-2
ALGO-2	Algorithm	DATA-2, DATA-3
ALGO-3	Algorithm	DATA-3, DISP-1
ALGO-4	Algorithm	DATA-3, DISP-2
DATA-1	Data Access	DATA-4
DATA-2	Data Access	
DATA-3	Data Access	DATA-4
DATA-4	Data Access	
DISP-1	Display Output	
DISP-2	Display Output	
All Modules use Modules in the Operating System		

a. Sketch a graphical module view that illustrates the uses relationships implied by this table. Could these modules be grouped into packages of modules? Could these modules (or the packages) be grouped into layers? If so, try to incorporate your groupings into your view.

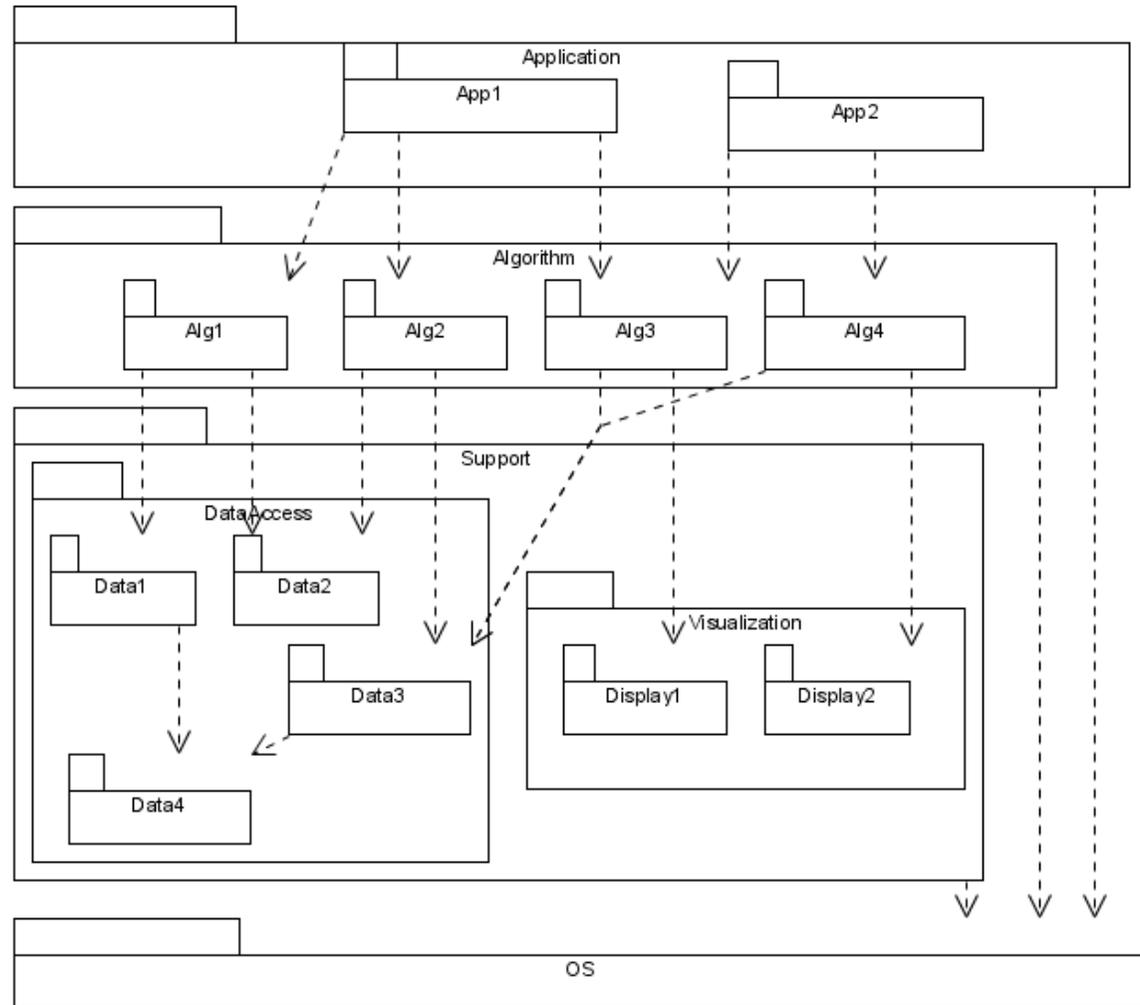
b. Sketch the dependency tree for the APP-1 application.

c. Suppose that we want to create a separate runtime component for each of the applications. Which modules would participate when the APP-2 component is running?

d. Assume that the original plan was to have the data access modules use the file system of the operating system for data management. Now, suppose that we decide to purchase a separate database system for data storage and retrieval. The database, of course, uses modules in the operating system. How would you incorporate this change into your graphical module view?

Soluzione

Quali sono dipendenze d'uso, e quali sono «può usare»?



Viste di tipo logistico



Vista logistica di dislocazione (deployment)

■ Elementi

- Software: **artefatti**
 - Un artefatto è un'informazione fisica che viene utilizzata o prodotta da un processo di sviluppo software o dal funzionamento di un sistema. Esempi di artefatti includono: **codice sorgente, script, file eseguibili binari, la tabella di un database, un deliverable di progetto, un documento word, un messaggio di posta.**
- Dell'ambiente: hardware, **ambiente di esecuzione**

■ Relazione

- elemento software allocato a elemento dell'ambiente

■ A cosa serve questa vista

- Analisi delle prestazioni
- Guida per l'installazione

Notazione UML per documentare la vista di dislocazione

- Parallelepipedo: denota un nodo hardware o, in generale, un ambiente di esecuzione.
- Artefatti (sembrano classi con stereotipo «artifact»)
- Le relazioni tra nodi hw sono connessioni fisiche o protocolli di comunicazione.

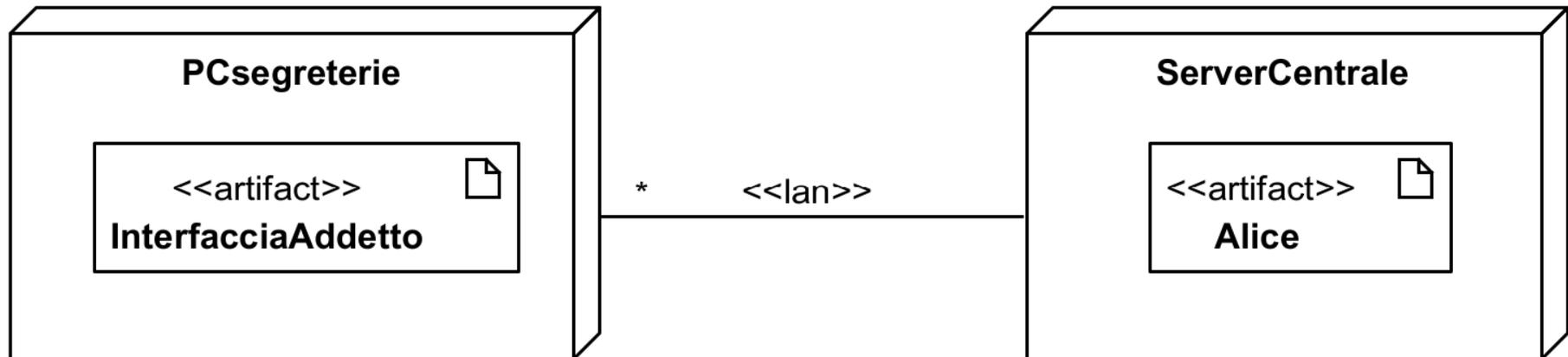
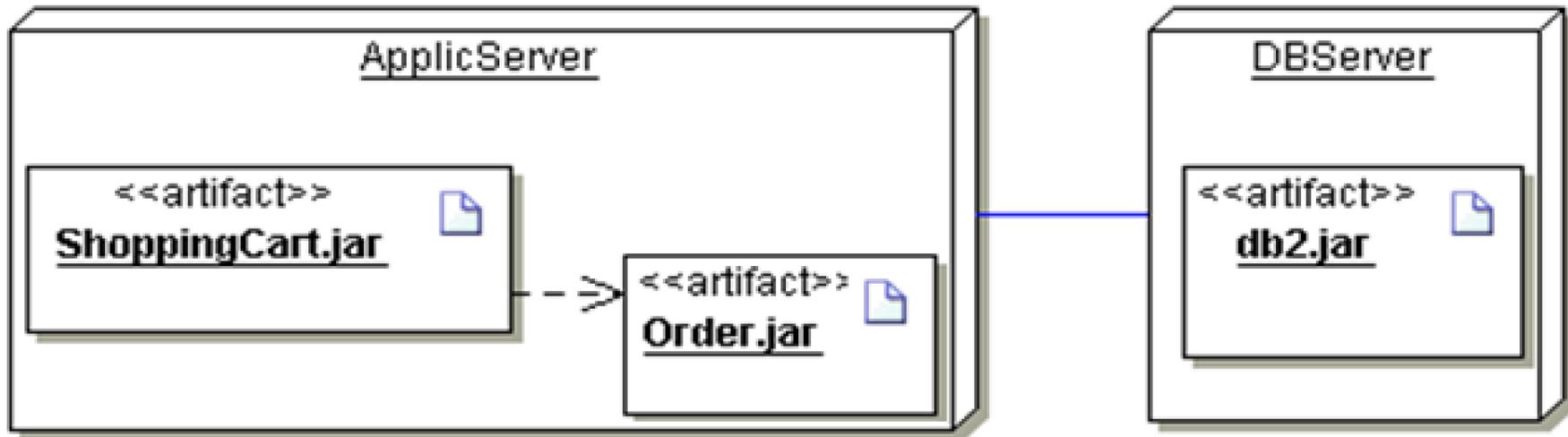
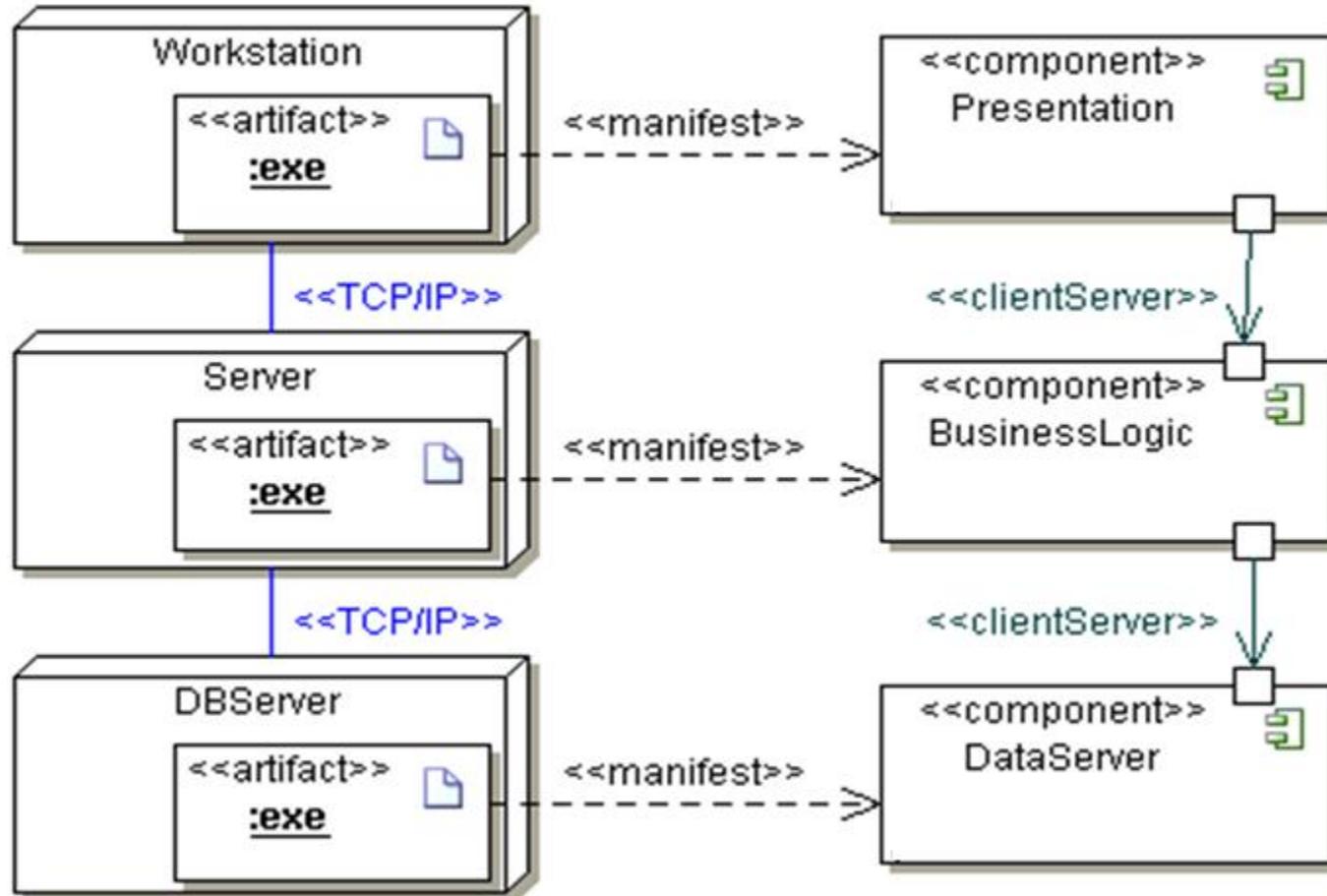


Diagramma di deployment a livello di istanza: esempio



Vista ibrida (mista) C&C e deployment

Esempio di architettura 3-tier



"Deployment« di componenti

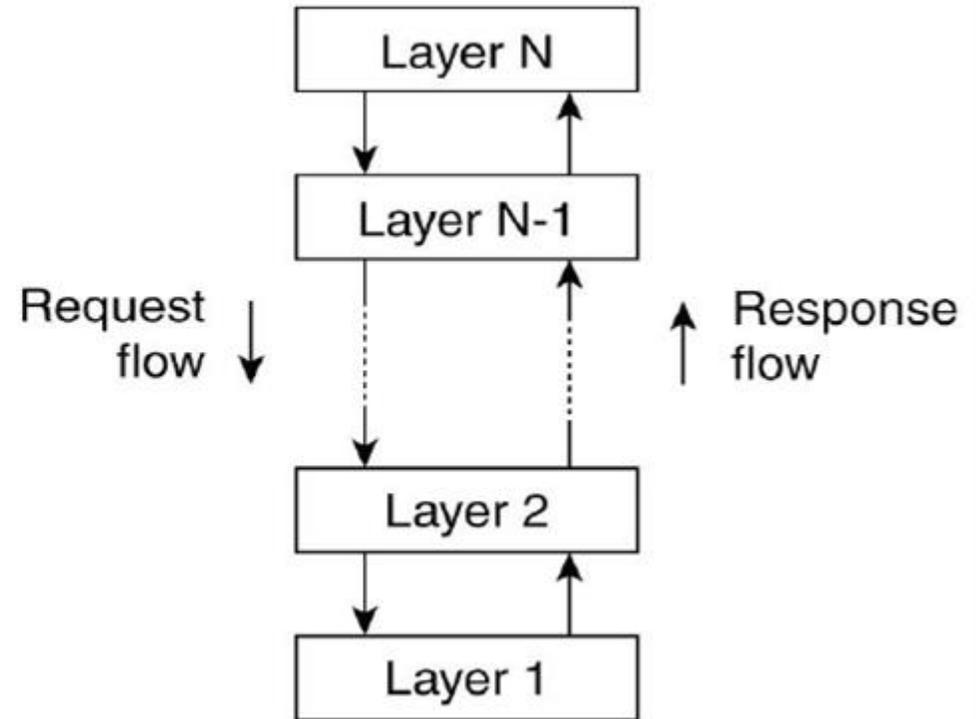
- Normalmente si parla di deployment di componenti, mentre in realtà si disloca un artefatto
 - L'artefatto è una copia di un'implementazione di componente che è stata installata/rilasciata (deployed) su un particolare computer/ambiente di esecuzione
- L'installazione avviene su un ambiente di esecuzione (nodo)
 - l'installazione comprende la configurazione e la registrazione del componente in tale ambiente
- Un artefatto (in questo caso anche chiamato componente installato) «manifesta» un componente
- Un componente (che esiste a run time) è un'istanza creata a partire da un artefatto in un ambiente di esecuzione

Esempi



"architettura a livelli" (esempio da web)

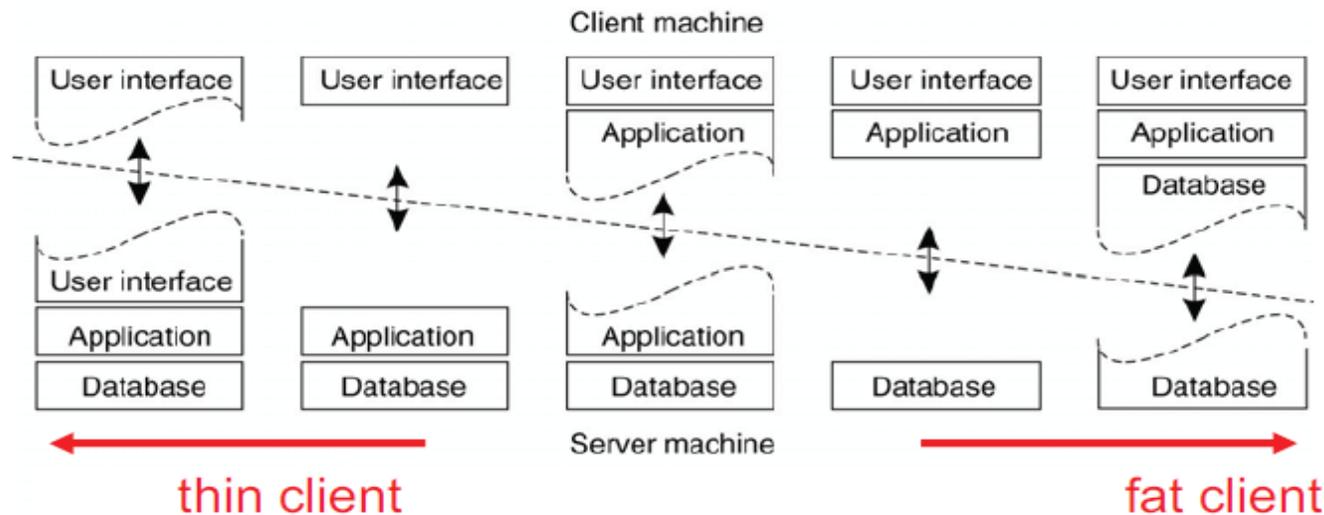
- Componenti organizzati in livelli (*layer*)
- Un componente a livello i può invocare un componente del livello sottostante $i-1$
- Le richieste scendono lungo la gerarchia, mentre le risposte risalgono



- In Realtà è un concetto ambiguo
 - Vista C&C: catene di client-server
 - Vista Strutturale: Layers

Architetture multilivello (esempio da web)

- Mapping tra livelli logici (**layer**) e livelli fisici (**tier**)
- Architettura ad un livello (single-tier): configurazione monolitica mainframe e terminale “stupido” (non è C/S!)
- Architettura a due livelli (two-tier): due livelli fisici (macchina client/singolo server)
- Architettura a tre livelli (three-tier): ciascun livello su una macchina separata
- Diverse configurazioni two-tier



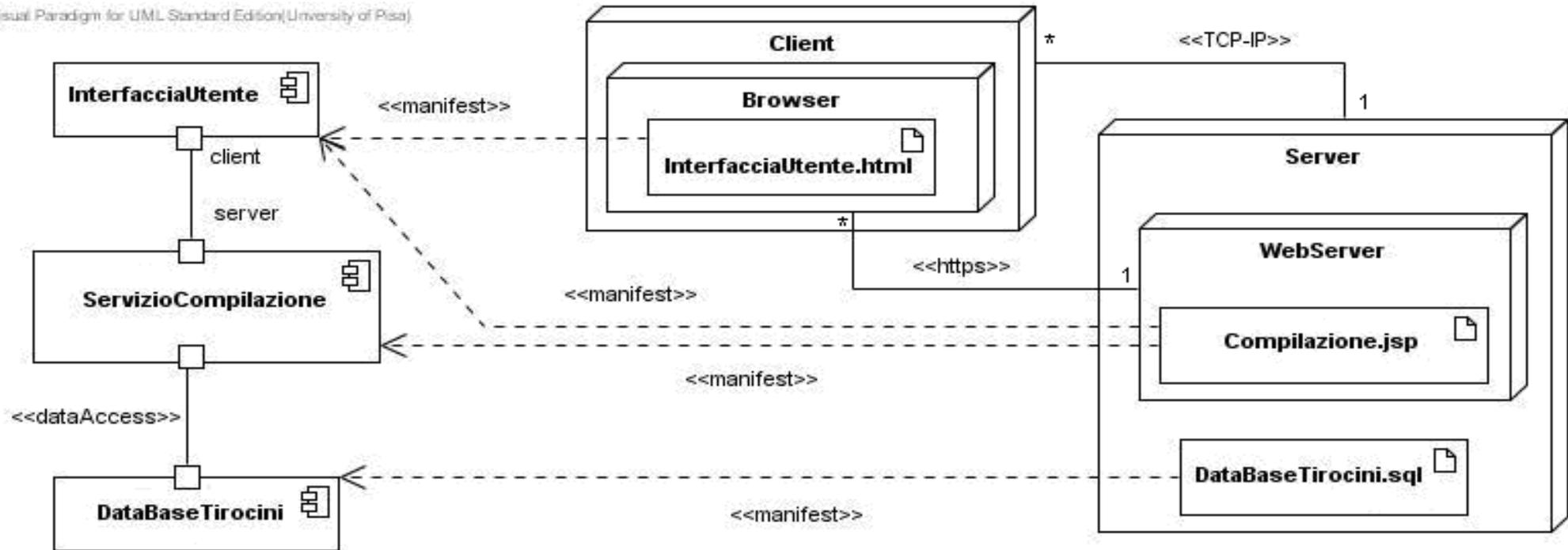
Architetture multilivello

- Da un livello ad N livelli
- Con l'introduzione di ciascun livello
 - L'architettura guadagna in flessibilità, funzionalità e possibilità di distribuzione
- Ma l'architettura multilivello potrebbe introdurre un problema di prestazioni
 - Aumenta il costo della comunicazione
 - Viene introdotta più complessità, in termini di gestione ed ottimizzazione

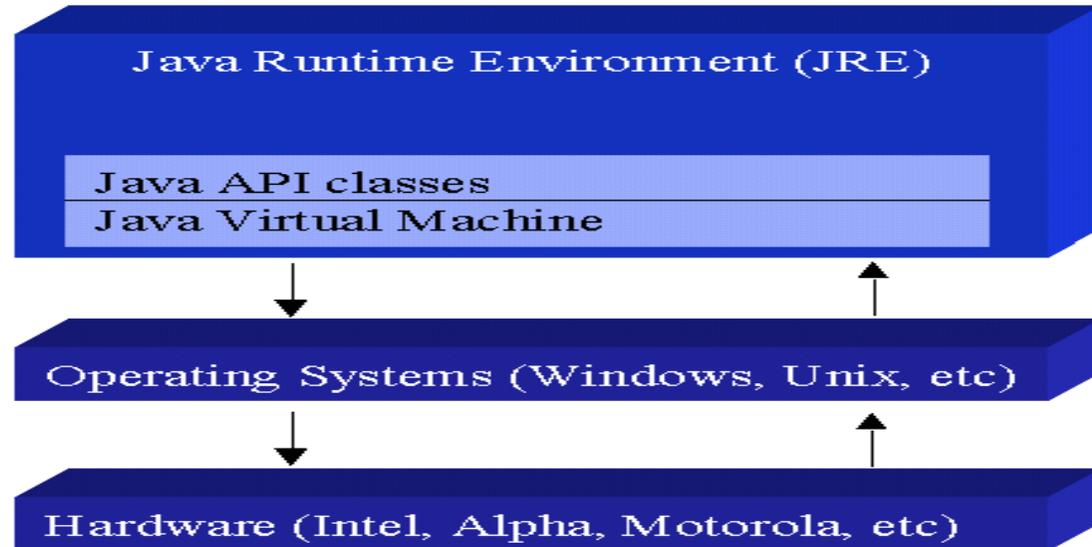
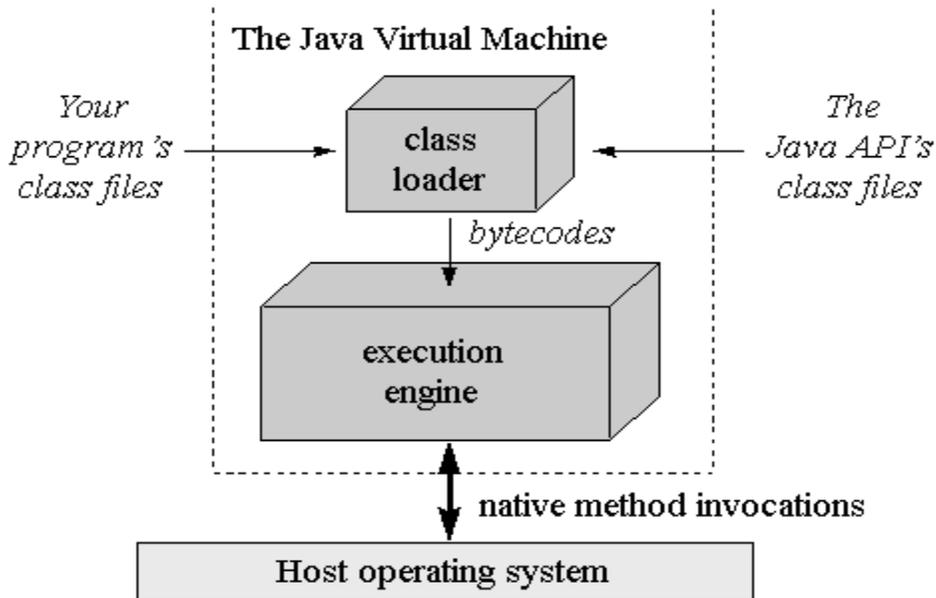
Esempio con 3 layers, 2 tiers (servizio per la gestione dei tirocini)

Vista ibrida (C&C e dislocazione) dell'architettura del sotto-sistema di Compilazione, assumendo che gli artefatti che manifestano le componenti citate siano: Compilazione.html, visualizzato da un browser di una macchina client e Compilazione.jsp (dislocata su un web server) e DataBaseTirocini.sql, mantenute su una macchina server.

Visual Paradigm for UML Standard Edition (University of Pisa)



Esercizio: quali viste per descrivere queste architetture?



- Componente (JVM)
 - Sotto-Componente (loader) +
 - Sotto-Componente (engine)
- Ambiente di esecuzione (SO)

- Codice (API classes) +
- Componente (JVM) +
- Ambienti di esecuzione (JRE, SO, HW)

Syllabus

- Dispensa di architettura:
 - Carlo Montangelo e Laura Semini,
*Architetture software e Progettazione di dettaglio,
Note per il Corso di Ingegneria del software*
 - Su didawiki