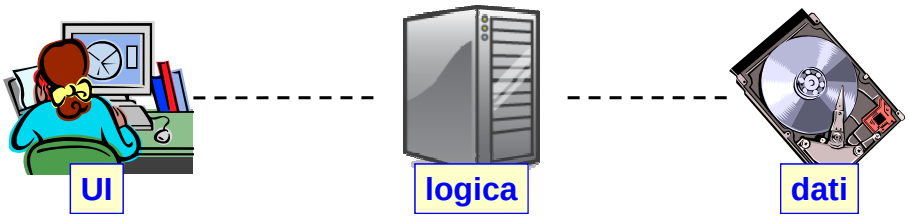
Architetture di sistemi distribuiti

Antonio Lioy
< lioy@polito.it >

Politecnico di Torino
Dip. Automatica e Informatica

Modello tipico di un'applicazione

- **interfaccia utente (UI)**
  - gestione di tutto l'I/O con l'utente
- **logica applicativa**
  - elaborazioni da fare per fornire il servizio all'utente
- **dati (grezzi)**
  - informazioni necessarie all'applicazione



Esempio (applicaz. "classica")

```
#include <stdio.h>
int main ( )
{
    double percentuale_iva = 20;
    double prezzo;
char buf[100];
printf ("costo? ");
gets (buf);
sscanf (buf, "%lf", &costo);
    prezzo = costo * (1 + percentuale_iva / 100);
printf ("prezzo di vendita = %.2lf\n", prezzo);
return 0;
}
```

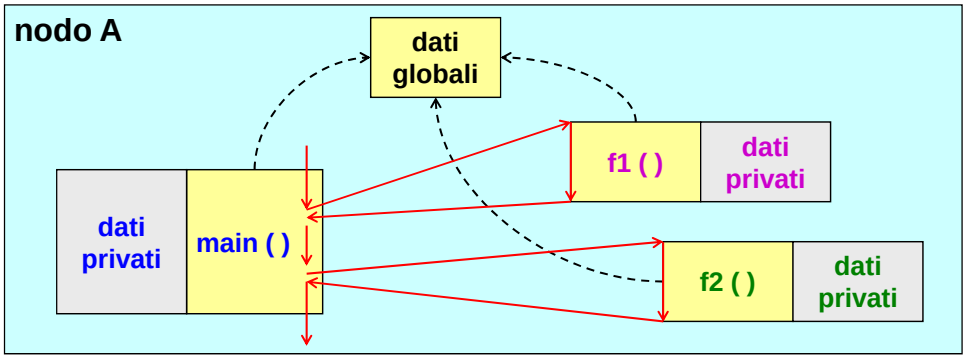
dati applicativi

interfaccia utente

logica applicativa

Elaborazione “classica”

- dati locali (condivisi / privati)
- unico spazio di indirizzamento
- elaborazione sequenziale su unica CPU
- flusso elaborazione univoco (eccezione: interrupt)



Elaborazione “classica”: vantaggi

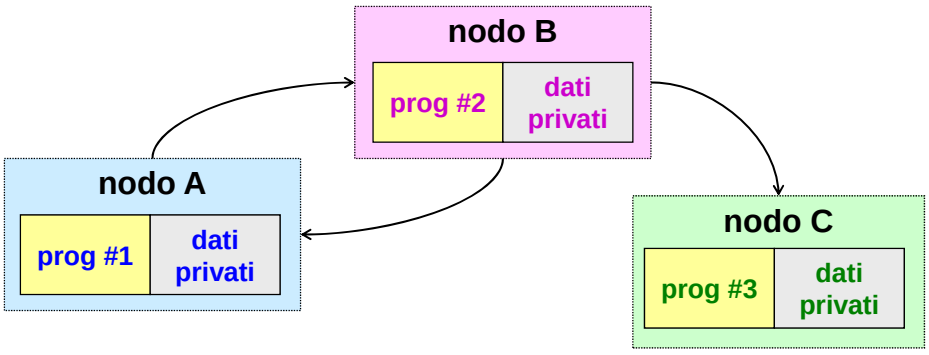
- **semplicità di programmazione**
- **robustezza**
- **buona possibilità di ottimizzazione**

Elaborazione “classica”: problemi

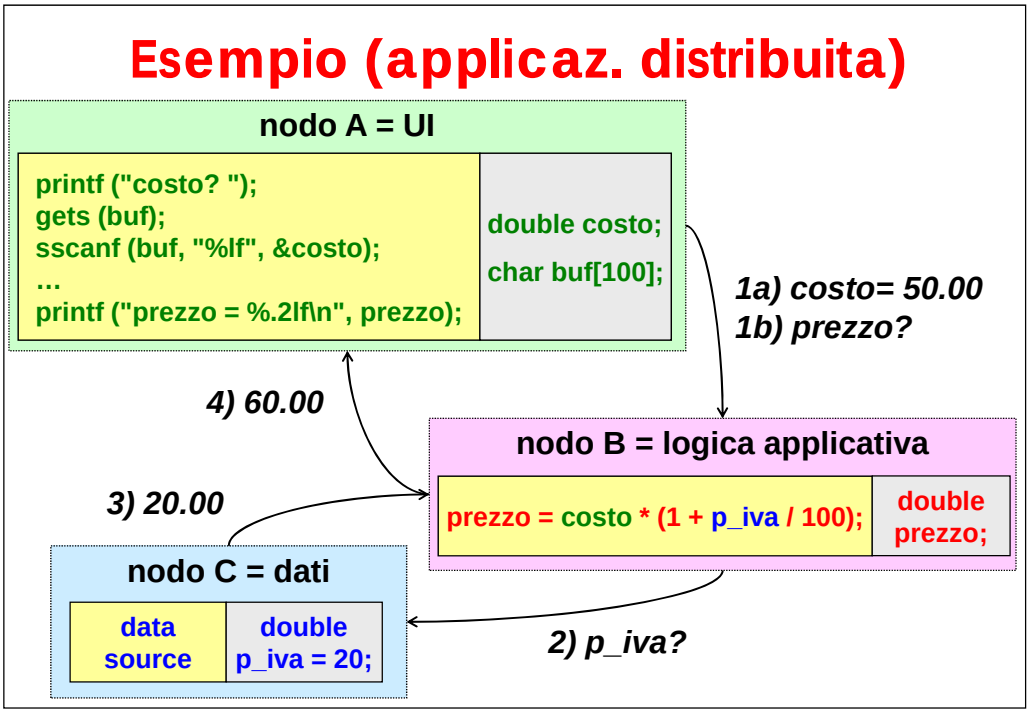
- **protezione dei dati da operazioni illegali**
  - operazioni compiute sui dati globali
  - sono accessibili anche i dati privati (!)
  - parzialmente migliorabile con OOP
- **basse prestazioni**
  - unica CPU, elaborazione sequenziale
  - migliorabile con sistemi multi-CPU e programmazione concorrente (thread, processi)
- **uso solo tramite accesso fisico al sistema**
  - terminali o “consolle”
  - migliorabile con collegamenti via modem / rete

Elaborazione distribuita

- dati solo locali (privati)
- molti spazi di indirizzamento
- elaborazione concorrente su CPU diverse
- molti flussi di elaborazione



Esempio (applicaz. distribuita)



Elaborazione distribuita: vantaggi

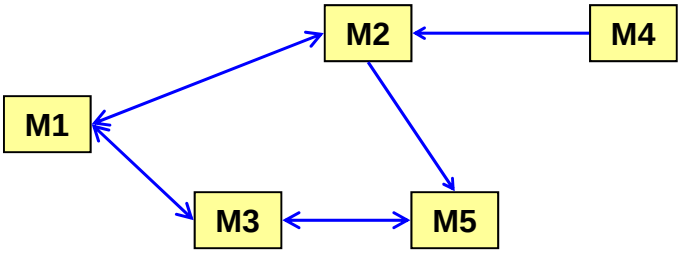
- **elevate prestazioni**
  - molte CPU
- **buona scalabilità**
  - più facile aumentare il n. di CPU che la potenza di una singola CPU
- **protezione dei dati da operazioni illegali**
  - spazi di memoria separati, accessibili solo tramite i rispettivi programmi
- **accesso tramite rete**
  - non necessaria presenza fisica dell'utente

Elaborazione distribuita: problemi

- **complessità di programmazione:**
  - come comunicano i vari programmi?
  - formato dei dati sui vari nodi di rete?
  - necessità di definire protocolli (applicativi)
  - sincronizzazione delle operazioni può portare ad attese e rallentamenti
- **scarsa robustezza**
  - maggiori possibilità di errore / malfunzionamenti
- **difficile ottimizzazione**
  - mancanza di una visione globale

Architettura software

- collezione di moduli software (o componenti)
- … interagenti tramite un ben definito paradigma di comunicazione (o connettori)
- nota: non è detto che la comunicazione sia effettuata via rete (es. IPC sullo stesso nodo)



Modello client-server

- metodo più diffuso per creare applicativi distribuiti
- client e server sono due processi separati:
  - il server fornisce un generico servizio
  - il client richiede il servizio
- anche sul medesimo sistema

Attenzione alla differenza tra client e server:
– come elementi hw di un sistema di elaborazione
– come processi di un'architettura distribuita

Il server

- **idealmente è in esecuzione ‘‘da sempre’’:**
  - attivato al boot
  - attivato esplicitamente dal sistemista
- **accetta richieste da uno o più punti:**
  - porta TCP o UDP (analogo al concetto di SAP OSI)
  - porte fisse e solitamente predeterminate
- **manda risposte relative al servizio**
- **idealmente non termina mai:**
  - allo shutdown
  - azione esplicita del sistemista

Il client

- **attivato su richiesta di un ‘‘utente’’**
- **invia richiesta verso un server**
- **attende la risposta su una porta allocata dinamicamente (non può essere una porta fissa perché ci possono essere molti “utenti” che operano simultaneamente, es. due finestre di un browser web)**
- **esegue un numero finito di richieste e poi termina**

Architetture

- **usando i concetti di client e server si possono costruire svariate architetture**
- **architettura client-server (C/S)**
  - architettura asimmetrica
  - il posizionamento del server è determinato a priori
- **architettura peer-to-peer (P2P)**
  - architettura simmetrica
  - ogni nodo può ricoprire il ruolo di client e di server (simultaneamente o in tempi diversi)

Architettura client-server (C/S)

- **architettura in cui processi client richiedono i servizi offerti da processi server**
- **vantaggi:**
  - semplicità di realizzazione
  - semplificazione del client
- **svantaggi:**
  - sovraccarico del server
  - sovraccarico del canale di comunicazione

Architettura C/S 2-tier

- **è il C/S classico, originale (es. NFS)**
- **il client interagisce direttamente con il server senza passaggi intermedi**
- **architettura tipicamente distribuita su scala sia locale sia geografica**
- **usata in ambienti di piccole dimensioni (50-100 client simultanei)**
- **svantaggi**
  - bassa scalabilità (es. al crescere del numero di utenti, decrescono le prestazioni del server)

C/S 2-tier: client pesante o leggero?

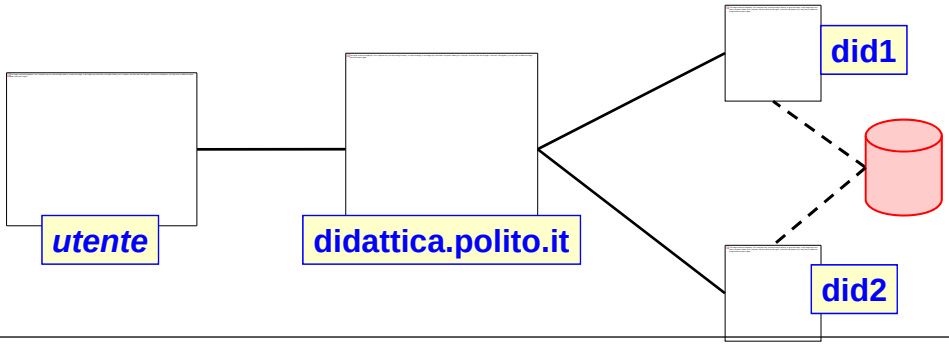
- **tre componenti (UI, logica applicativa, dati) … da distribuire su due soli elementi (client e server)**
- **soluzione 1 = fat client / thin server**
  - client = UI + logica applicativa
  - server = dati
  - schema tradizionale, difficoltà di sviluppo (sw ad-hoc) e gestione (installazione, aggiornamento), minor sicurezza
- **soluzione 2 = thin client / fat server:**
  - client = UI
  - server = logica applicativa + dati
  - (es. il web) pesante sui server, maggior sicurezza

Architettura C/S 3-tier

- **un componente (o agente) è inserito tra client e server, per svolgere vari ruoli:**
  - filtro (es. adatta un sistema legacy su mainframe a un ambiente C-S)
  - bilanciamento del carico di lavoro sul/i server (es. load balancer con più server equivalenti)
  - servizi intelligenti (es. distribuire una richiesta su più server, collezionare i risultati e restituirli al client come risposta singola)

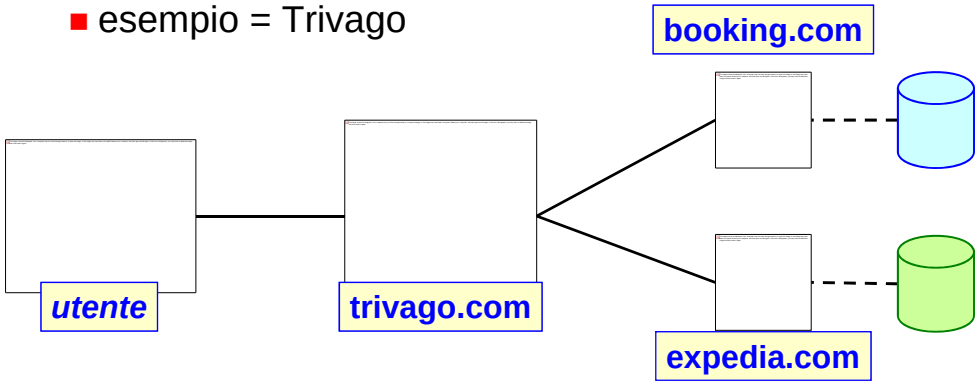
Esempio di sistema C/S 3-tier

- **per migliorare le prestazioni (di calcolo):**
  - agente = load balancer
  - server = server farm di server omogenei o equivalenti
  - esempio = il portale della didattica del Poli

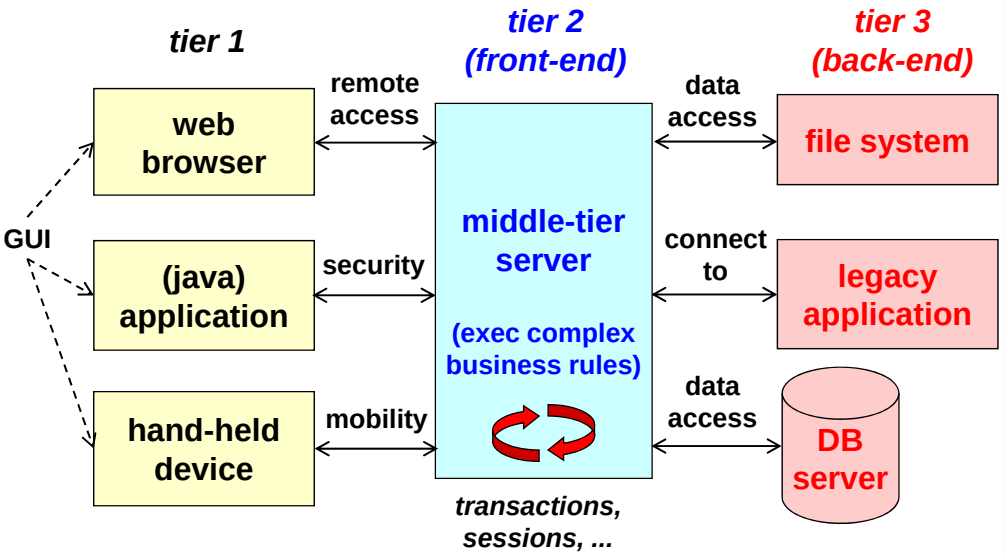


Esempio di sistema C/S 3-tier

- **per semplificare il lavoro del client:**
  - agente = mediatore / broker
  - server = insieme di server eterogenei / non equivalenti
  - esempio = Trivago

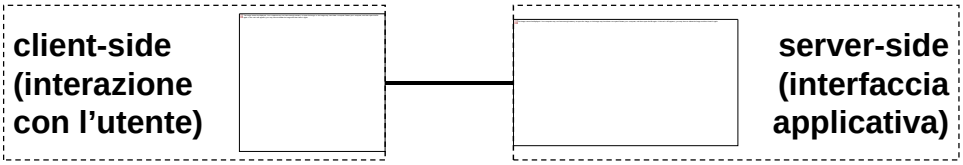


3-tier: esempio applicativo (custom)

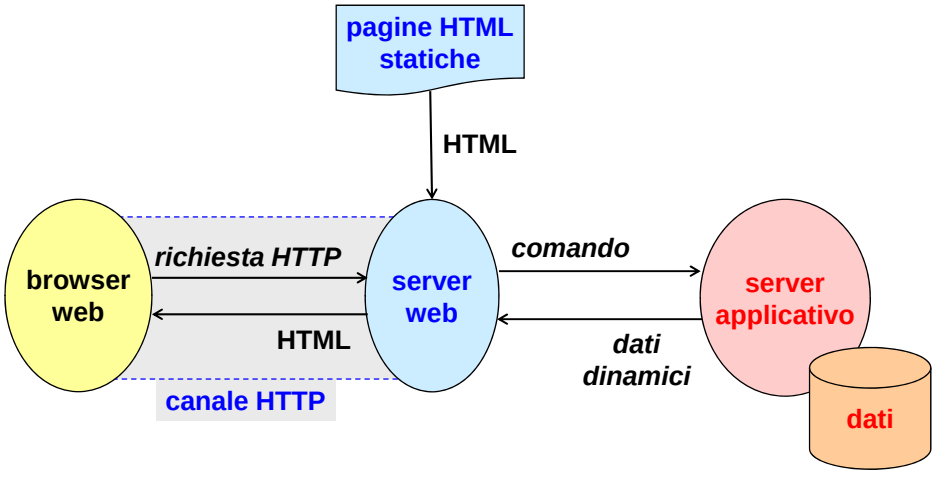


La UI ed il web

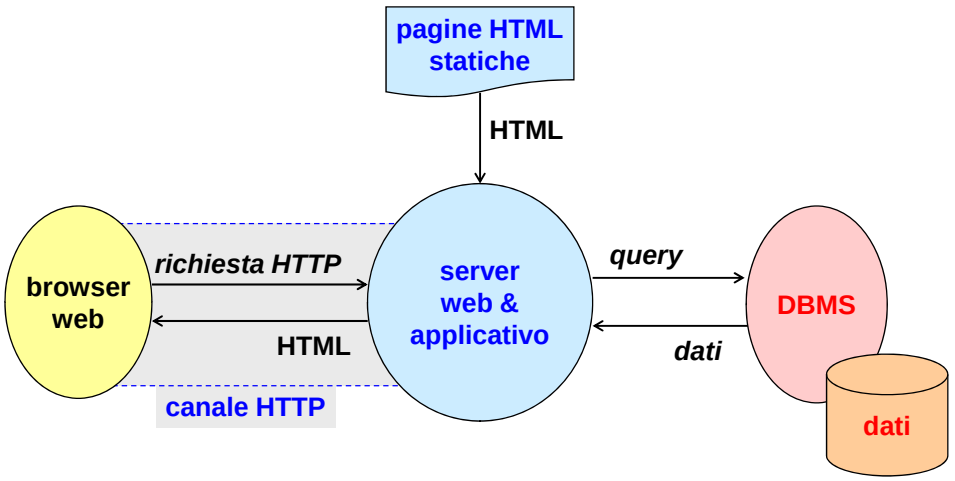
- **UI "tradizionale" custom:**
  - difficile sviluppo, deployment e manutenzione
  - difficile addestramento degli utenti
- **UI "moderna" web è divisa in due:**
  - UI client-side standard (=browser)
  - UI server-side standard (=server web) e programmabile facilmente



3-tier: modello web (caso I)

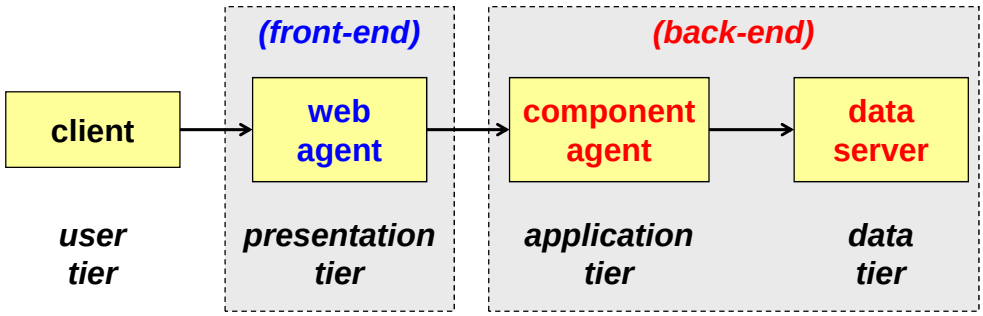


3-tier: modello web (caso II)



Architettura C/S 4-tier

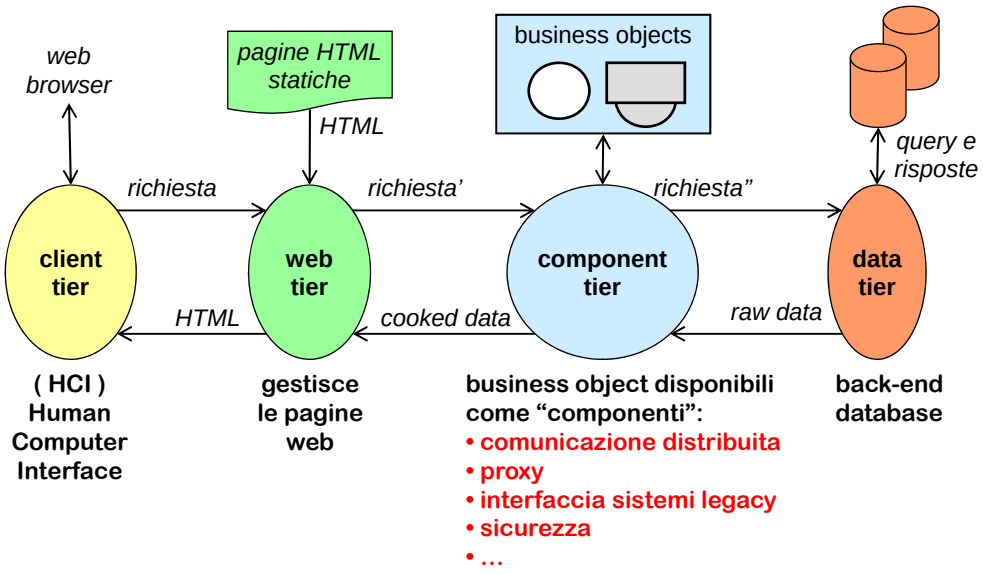
- **due componenti / agenti inseriti tra client e server:**
  - web agent (gestisce la presentazione dei dati)
  - component agent (gestisce le logiche applicative)



Migliorare le prestazioni di rete?

- **architetture 3/4-tier migliorano le prestazioni di calcolo … ma il front-end resta un collo di bottiglia**
- **come migliorare? l'erogatore del servizio non controlla la parte di rete tra client e front-end**
- **tentativo di miglioramento:**
  - statistica sulla provenienza dei clienti
  - moltiplicare il front-end (uno per ogni rete da cui provengono i miei clienti)
  - come indirizzare i clienti verso il front-end giusto?
    - basandosi su lingua/dominio (es. srv.it, srv.fr)
    - basandosi sul routing (es. DNS modificato Akamai)

Esempio 4-tier: Internet e-commerce system



Client tier: browser o applicazione?

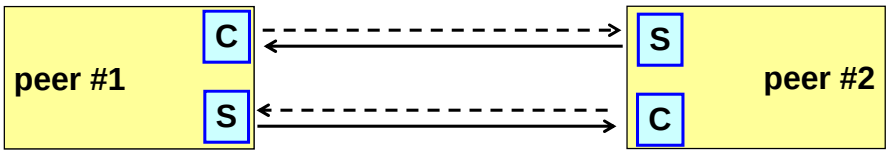
- **web browser:**
  - (V) noto agli utenti e gestito da essi
  - (V) comunicazione e dati standard (HTTP, HTML)
  - (S) versione incerta di protocollo e dati (minimo comune?)
  - (S) prestazioni non elevate (interprete)
  - (S) funzionalità limitata (semplice interfaccia grafica)
  - (S) estensioni non sempre supportate:
    - applet (Java, Active-X)
    - script client-side (JavaScript, VBscript)
    - plugin (Flash, …)

Client tier: browser o applicazione?

- **applicazione client custom / ad-hoc:**
  - (V) funzionalità molto ricca (=richiesta dal server)
  - (V) prestazioni molto elevate
  - (S) addestramento all'uso
  - (S) piattaforme supportate
  - (S) deployment ed aggiornamento
  - (S) assistenza utenti

Architettura peer-to-peer (P2P)

- **architetture in cui i processi possono fungere simultaneamente da client e da server**
- **vantaggi:**
  - carico di lavoro e di comunicazione distribuito tra tutti i processi
- **svantaggi:**
  - difficoltà di coordinamento / controllo
  - carico di comunicazione realmente distribuito?



P2P computing

- **i client evolvono da meri utenti di servizi a fornitori autonomi di servizi**
- **per condividere risorse e sfruttare servizi collaborativi**
- **si sfruttano meglio le capacità di calcolo dei singoli nodi (così si scaricano i server)**
- **si usano meglio le reti, con comunicazioni dirette tra i nodi (così si evitano congestioni sui link verso i server)**

Architetture P2P

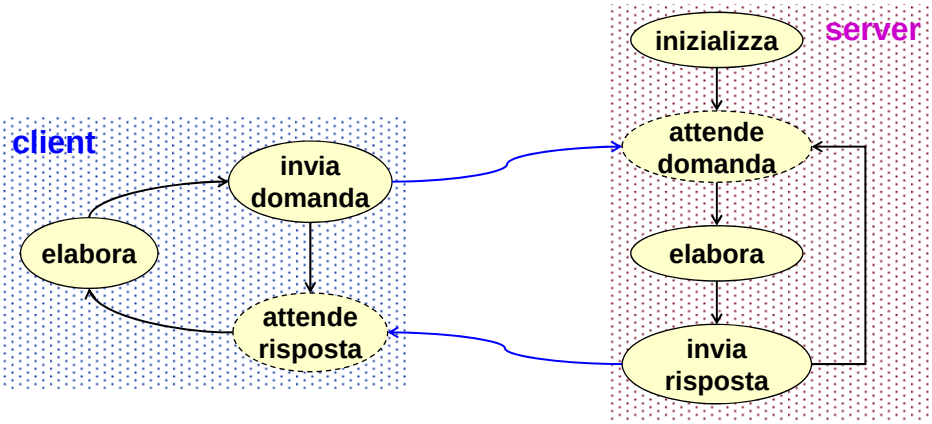
- **collaborative computing**
  - comunità di rete per compiti distribuiti (es. cloud/grid computing; aperto o chiuso; anche per dati riservati o elaborazioni con deadline fissa?)
- **edge service**
  - servizi ortogonali come “fattori abilitanti” per la creazione di comunità P2P (es. TOIP, Internet fax)
- **file sharing**
  - per scambiare informazioni sulla rete senza doverle caricare su un server, ma lasciandole là dove si trovano (problema: l’indice)
  - es. Gnutella (gnutella.wego.com), WinMX, Kazaa

Modelli di server

- **l’architettura interna del server influenza molto le prestazioni del sistema complessivo**
- **bisogna scegliere il modello più adatto al problema applicativo**
- **non esiste una soluzione buona per tutti gli usi (si rischia che sia troppo complicata)**

Server iterativo

- se il servizio richiesto è di breve durata il server lo fornisce direttamente



Esempi di server iterativo

- servizi standard TCP/IP di breve durata:
  - daytime (tcp/13 o udp/13) RFC-867
  - qotd (tcp/17 o udp/17) RFC-865
  - time (tcp/37 o udp/37) RFC-868
- in generale, servizi in cui si vuole fortemente limitare il carico (un solo utente per volta)
- vantaggi:
  - semplicità di programmazione
  - velocità di risposta (quando ci si riesce a collegare!)
- svantaggi:
  - limite di carico

Prestazioni di un server iterativo

- prestazioni non influenzate dal numero di CPU
- sia T_E il tempo di CPU dell'elaborazione richiesta al server [s] (ipotesi: $T_E >> T_R$)
- prestazioni massime (in condizioni ottimali):

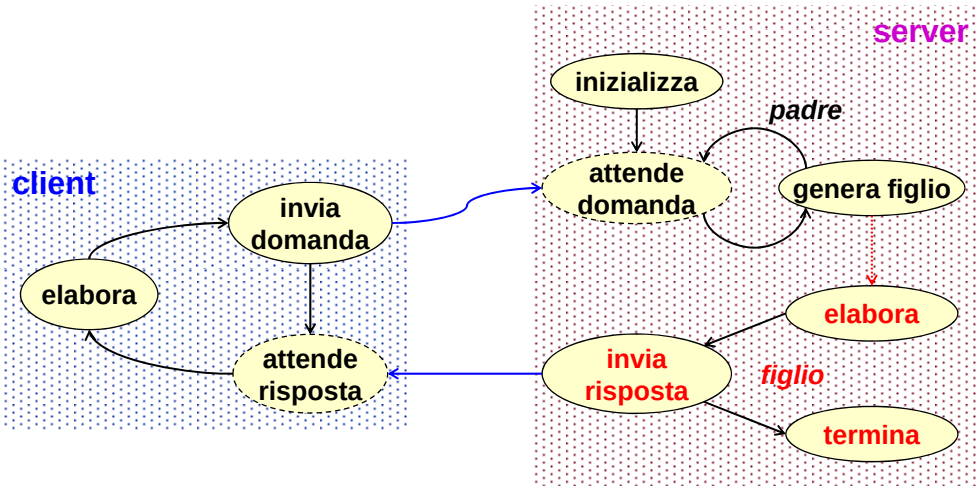
$$P = 1 / T_E \quad \text{servizi / s}$$

- in caso di richieste simultanee da più client, quelli non serviti rientrano in competizione successivamente (a meno che la coda delle domande abbia ampiezza > 1)
- la latenza [s] del servizio dipende dal carico W>=1 del nodo che ospita il server:

$$T_E \le L \le T_E \times W \quad \text{ovvero} \quad L \sim T_E \times E(W)$$

Server concorrente

- quando il servizio è lungo, il server attiva un sottoprocesso "figlio" e torna in attesa



Esempi di server concorrente

- **la maggior parte dei servizi standard TCP/IP:**
  - echo (tcp/7 o udp/7) RFC-862
  - discard (tcp/9 o udp/9) RFC-863
  - chargen (tcp/19 o udp/19) RFC-864
  - telnet (tcp/23) RFC-854
  - smtp (tcp/25) RFC-2821
  - …
- **in generale, i servizi con elaborazione complessa o di durata lunga e/o non prevedibile a priori**

Server concorrente: analisi

- **vantaggi:**
  - carico idealmente illimitato
- **svantaggi:**
  - complessità di programmazione (concorrente)
  - lentezza di risposta (creazione di un figlio, T_F)
  - carico max reale limitato (ogni figlio richiede RAM, cicli di CPU, cicli di accesso a disco, …)

Prestazioni di un server concorrente

- influenzate dal numero di CPU (sia esso C)
- sia T_F il tempo di CPU per creare un figlio [s]
- prestazioni massime (in condizioni ottimali):

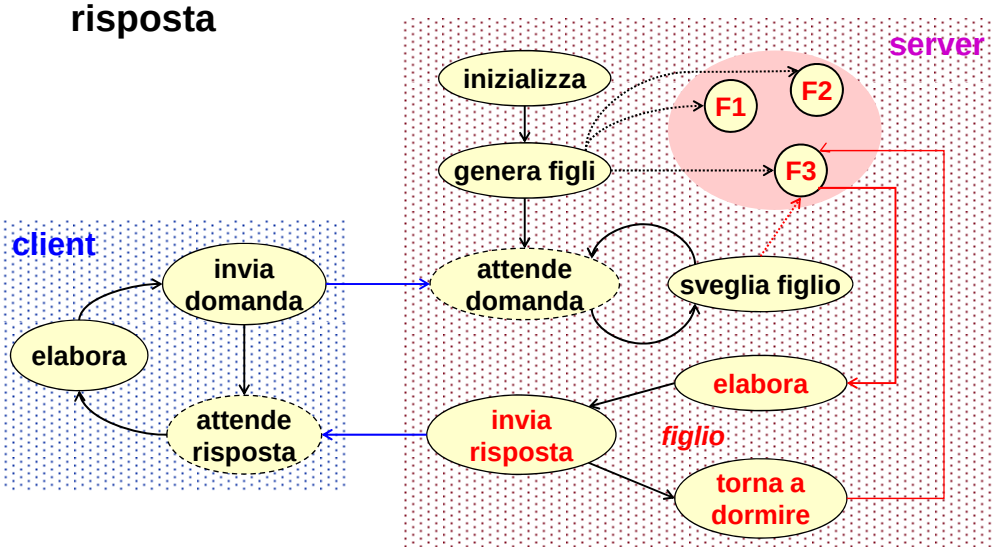
$$P = C / (T_F + T_E) \text{ servizi / s}$$

- in caso di richieste simultanee da più client, quelli non serviti rientrano in competizione successivamente (a meno che la coda delle domande abbia ampiezza > 1)
- la latenza del servizio dipende dal carico W del nodo che ospita il server:

$$(T_F + T_E) \leq L \leq (T_F + T_E) \times W / C \quad s$$

Server a "crew"

- pre-attivazione dei figli per migliorare il tempo di risposta



Esempi di server a “crew”

- **tutti i servizi concorrenti possono essere realizzati con server a crew**
- **servizi di rete ad alte prestazioni:**
  - sottoposti ad alto carico (=n. di utenti simultanei)
  - con basso ritardo alla risposta (latenza)
- **esempi tipici:**
  - web server per e-commerce
  - DBMS server

Server a “crew”: analisi

- **vantaggi:**
  - carico idealmente illimitato (si possono generare figli addizionali in funzione del carico)
  - velocità di risposta (svegliare un figlio è più rapido che crearlo)
  - possibilità di limitare il carico massimo (solo figli pre-generati)
- **svantaggi:**
  - complessità di programmazione (concorrente)
  - gestione dell’insieme dei figli (children pool)
  - sincronizzazione e concorrenza degli accessi alle risorse condivise del server da parte dei vari figli

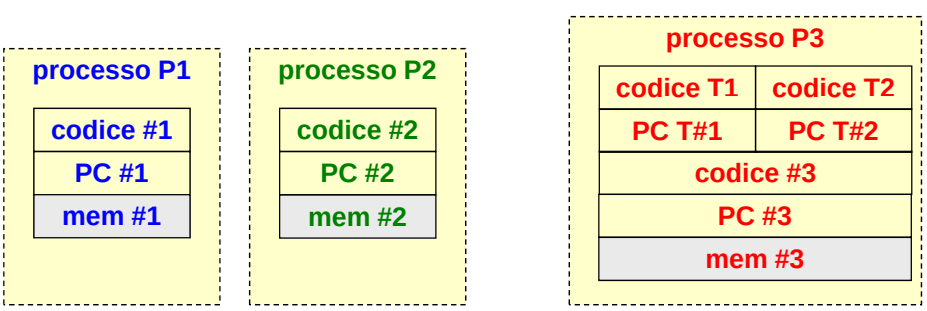
Prestazioni di un server “a crew”

- analoghe a quelle di un server concorrente, con T_F sostituito dal tempo necessario ad attivare un figlio T_A (di solito trascurabile)
- se, una volta esauriti i figli, il server a crew può generarne altri allora le prestazioni sono una combinazione pesata con la probabilità G di dover generare nuovi figli:

$$P = (1 - G) \times [\ C / (T_A + T_E)\ ] + G \times [\ C / (T_F + T_E)\ ]$$

Programmazione concorrente

- lavoro simultaneo di più moduli di elaborazione sulla stessa CPU
- due modelli principali:
  - processi
  - thread



Processi vs. thread (I)

- **attivazione di un modulo**
  - [P] lenta
  - [T] veloce
- **comunicazione tra moduli**
  - [P] difficile (richiede IPC, es. pipe, shared memory)
  - [T] facile (stesso spazio di indirizzamento)

Processi vs. thread (II)

- **protezione tra moduli**
  - [P] ottima, sia della memoria sia dei cicli di CPU
  - [T] pessima (e l'accesso a memoria comune richiede sincronizzazione e può causare deadlock)
- **debug:**
  - [P] non banale ma possibile
  - [T] molto difficile (schedulazione non replicabile)