



Sistemi distribuiti: introduzione

SCD

Anno accademico 2015/16
Sistemi Concorrenti e Distribuiti

Tullio Vardanega, tullio.vardanega@math.unipd.it

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova1/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Caratteristiche di trasparenza

Trasparenza di	Per nascondere
Accesso	Differenze nella - rappresentazione dei dati (per HW eterogeneo) - modalità di accesso a risorse (per organizzazioni logiche diverse)
Collocazione	Il luogo di residenza effettiva delle risorse (distinzione tra nome fisico e nome logico)
Migrazione	Che una risorsa possa cambiare collocazione nel tempo
Spostamento	Che una risorsa possa cambiare collocazione durante l'uso
Replicazione / Transazione	Esistenza di copie multiple di una risorsa Coordinamento di attività per gestire una configurazione di risorse
Malfunzionamento	Guasto ed eventuale ripristino delle risorse
Persistenza	Grado di persistenza della risorsa logica (residente in memoria primaria oppure in memoria secondaria)

ISO / IEC 10746-[1,4]:1996, *Open Distributed Processing*

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova3/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Definizione

❑ Un sistema distribuito è un insieme di nodi di calcolo indipendenti capaci di apparire all'applicazione come un sistema unitario e coerente

- La comunicazione di coordinamento tra i nodi deve restare trasparente all'applicazione
- L'interazione tra applicazione e sistema deve essere indipendente dal tempo locale e dalla locazione in cui avviene

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova2/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Altre caratteristiche desiderabili – 1

❑ *Openness*

- Portabilità e interoperabilità
- Sintassi di invocazione definita da regole pubbliche e stabili
 - Servizi sintatticamente specificati in termini di **interfacce** espresse in linguaggio neutro (*Interface Definition Language*, IDL)
 - **Completezza**: la specifica dell'interfaccia non nasconde alcun dettaglio essenziale alla sua realizzazione da parte di terzi
 - **Neutralità**: la specifica dell'interfaccia non impone una particolare realizzazione

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova4/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Altre caratteristiche desiderabili – 2

❑ Separazione tra politiche e meccanismi

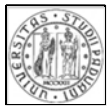
○ La politica deve essere facilmente modificabile, adattabile e configurabile al variare dei bisogni e delle circostanze

• La politica è interna al servente e trasparente al cliente

○ I meccanismi consentono la realizzazione di diverse politiche e non dovrebbero cambiare al variare di esse

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

5/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Fattori di centralizzazione

❑ Centralizzazione dei servizi

○ Singolo servente per tutti gli utenti del sistema

• Collo di bottiglia

❑ Centralizzazione dei dati

○ Tutte le informazioni significative in un unico luogo

• Dimensioni e complessità gestionale

❑ Centralizzazione degli algoritmi

○ Conoscere lo stato corrente dell'intero sistema

• Onere di raccolta e ricostruzione

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

7/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Altre caratteristiche desiderabili – 3

❑ Scalability (dimensionabilità al bisogno)

○ Rispetto alla cardinalità dei componenti del sistema

• Per aggiunta o rimozione di utenti, nodi, risorse

○ Rispetto all'estensione spaziale

• Utenti e risorse possono trovarsi a distanza variabile tra loro senza che questo ne pregiudichi l'accesso e l'interazione

○ Rispetto alle problematiche locali di gestione

• Ciascuna amministrazione locale non pregiudica l'amministrazione del sistema distribuito nel suo complesso

❑ Obiettivi a elevato costo prestazionale

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

6/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Prerequisiti di distribuzione

❑ Un algoritmo è distribuito se

○ Non richiede informazione completa sull'intero sistema

○ Sa prendere decisioni sulla base di conoscenza locale

○ Non viene pregiudicato da guasti locali

○ Non necessita di un tempo di sistema unico e globale

○ Consente ripartizione dei compiti e replicazione delle risorse e ne garantisce la consistenza necessaria

❑ Il paradigma di comunicazione asincrona

○ Nasconde i ritardi di rete e quindi è più naturalmente adatto alla distribuzione

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

8/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Distribuzione HW

Multi-processor

Multi-computer

Shared memory

Private memory

Bus-based

Switch-based

P

 Processor

M

 Memory

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

9/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Sistemi *multi-processor* – 1

Unico spazio di indirizzamento $\forall$ CPU

La comunicazione su *bus* causa collo di bottiglia

La connessione punto a punto (*switched*) bilancia meglio il carico al costo di maggiore complessità strutturale

Connessione completa (*crossbar switch*) con matrice $P \times M$

Comunicazione veloci per alto costo strutturale

Combinazione di sottoreti connessione più semplici (p.es. 2×2 , *omega network*)

Basso costo strutturale per collegamenti più complicati

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

11/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Architettura di memoria

Uniforme (UMA) $\Rightarrow$ *multi-processor*

Spazio di indirizzamento unico e comune

Assunzione base delle architetture SMP (*Symmetric Multi-Processor*)

Cache coerente

Accesso uniforme a tutta la memoria

Ma ogni singolo accesso blocca tutte le CPU

Non uniforme (NUMA) $\Rightarrow$ *multi-computer*

Spazio di indirizzamento comune

Cache coerente

Accesso non uniforme alla memoria comune

Costo di accesso ottimizzabile ma con maggiore complessità organizzativa

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

10/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Sistemi *multi-processor* – 2

meno connettori ma più latenza di connessione

Memories

CPU's

Crosspoint switch

n^2 connettori per n elementi $\{P, M\}$

(a)

Crossbar switch

CPU's

Memories

2x2 switch

(b)

Omega network

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

12/34

Unipd - SCD 2015/16 - Sistemi Concorrenti e Distribuiti

3



Sistemi distribuiti: introduzione

Sistemi *multi-computer* – 1

❑ Omogenei

○ Nessuno spazio di indirizzamento comune

○ Comunicazione via *router* con interconnessione a diffusione (*bus*) o punto a punto (*switch*)

- L'interconnessione a *bus* non scala quella a *switch* si

❑ Interconnessione punto a punto

○ Topologia a griglia (*grid*)

○ A ipercubo (*hypercube*)

- Cubi n-dimensionali con 2^n vertici e $n2^{n-1}$ archi diretti tra vertici
- Ciascun vertice è un elaboratore e ciascun arco una connessione

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

13/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Sistemi *multi-computer* – 3

❑ Eterogenei

○ Sia rispetto alla tipologia degli elaboratori che alla topologia di interconnessione

○ Sono il modello architetturale più generale

- E quindi il termine di riferimento dei sistemi distribuiti

❑ Nota storica

○ I sistemi omogenei erano visti come architetture a parallelismo massiccio per applicazioni specializzate

- L'avvento dei processori *multi-core* ne ha cambiato la percezione
- I nuovi processori *many-core* sono *multi-computer* eterogenei

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

15/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Sistemi *multi-computer* – 2

Ogni singolo nodo si occupa di elaborazione e di instradamento

2

3

3

2

3

4

4

3

3

4

4

3

2

3

3

2

Griglia

Qui la posizione del nodo determina il suo numero di vicini quindi il *routing* va specializzato

2^n vertici

$n2^{n-1}$ archi

$n = 4$

Ipercubo

Qui il numero di vicini è invariante e il *routing* non va specializzato

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

14/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Distribuzione SW

❑ Secondo la struttura del S/O

❑ Accoppiamento stretto → S/O distribuito

○ Gestione uniforme delle risorse di sistema

- In analogia con le funzioni di S/O per *mono-processor*

❑ Accoppiamento lasco → S/O di rete (NOS)

○ Per offrire a utenti remoti l'accesso ad alcune risorse e servizi locali

○ Le funzionalità di gestione della distribuzione possono essere arricchite da un livello SW interposto tra NOS e applicazioni → *middleware*

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

16/34

Unipd - SCD 2015/16 - Sistemi Concorrenti e Distribuiti

4



Sistemi distribuiti: introduzione

Sistemi operativi distribuiti – 1

Computer AComputer BComputer C

Applicazioni distribuite

Servizi di S/O distribuito

S/O localeS/O localeS/O locale

Memoria comune virtualizzata tramite scambio messaggi

Rete di interconnessione

Architettura generalmente concepita per sistemi omogenei

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

17/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Sistemi operativi distribuiti – 3

❑ La programmazione di sistemi distribuiti per *multi-computer* è molto più complessa di quella per sistemi *multi-processor*

○ Ma vale il contrario per le problematiche di *scheduling*



❑ La comunicazione basata su memoria condivisa e primitive di sincronizzazione è molto più facile di quella basata su scambio messaggi

○ Lo scambio messaggi è potenzialmente scalabile ma complicato dalle problematiche di accodamento, sincronizzazione (coordinamento) e affidabilità della rete di interconnessione

○ Per la sincronizzazione nella condivisione di risorse in presenza di parallelismo non è ovvio scegliere tra *suspend lock* e *spin lock*

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

19/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Sistemi operativi distribuiti – 2

Mittente

Destinatario

1

2

3

4

OUT

IN

(1) Messaggio depositato in *buffer OUT* mittente

(2) Messaggio prelevato da *buffer OUT* mittente e inviato su rete

(3) Messaggio depositato in *buffer IN* destinatario

(4) Messaggio prelevato da *buffer IN* destinatario per ricezione

Il mittente può bloccarsi su (1) finché il *buffer OUT* è pieno

L'attesa del mittente ai punti (2-4) non richiede *buffer* dal suo lato!

Il destinatario può bloccarsi su (3) finché il *buffer IN* è vuoto

L'attesa del mittente ai punti (3-4) ha senso solo in presenza di una rete di comunicazioni affidabile

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

18/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Sistemi operativi di rete

Computer AComputer BComputer C

Applicazioni distribuite

Servizi di S/O di rete

S/O localeS/O localeS/O locale

Servizi specializzati (p.es., sessione remota, *file system* di rete)

Rete di interconnessione

Architettura idonea per sistemi eterogenei

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

20/34

Unipd - SCD 2015/16 - Sistemi Concorrenti e Distribuiti

5



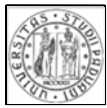
Sistemi distribuiti: introduzione

Sistemi distribuiti: *middleware* – 1

- ❑ Né i S/O distribuiti né i S/O di rete aderiscono alla definizione di sistema distribuito
 - S/O distribuiti hanno caratteristiche di trasparenza ma non coordinano un insieme di nodi indipendenti
 - S/O di rete hanno caratteristiche di *openness* e *scalability* ma non forniscono la visione di un sistema unitario e coerente
- ❑ I sistemi distribuiti moderni aggiungono a (o rimpiazzano) lo strato NOS con un livello di astrazione SW chiamato *middleware*

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

21/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Sistemi distribuiti: *middleware* – 3

- ❑ Esistono svariati paradigmi di *middleware*
- ❑ *File system* distribuito → NFS su UNIX
 - Trasparenza limitata a *file* di tipo tradizionale
- ❑ Chiamate di procedura remota (RPC)
 - Trasparenza estesa alla comunicazione distribuita
- ❑ Oggetti distribuiti
 - Interazioni come tra oggetti rappresentati da interfacce semplici

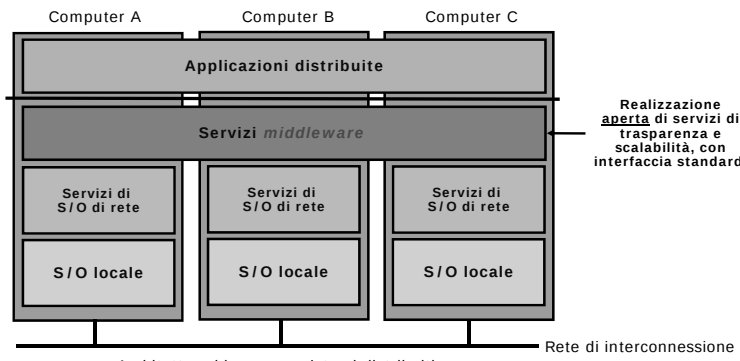
Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

23/34



Sistemi distribuiti: introduzione

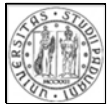
Sistemi distribuiti: *middleware* – 2



Architettura idonea per sistemi distribuiti

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

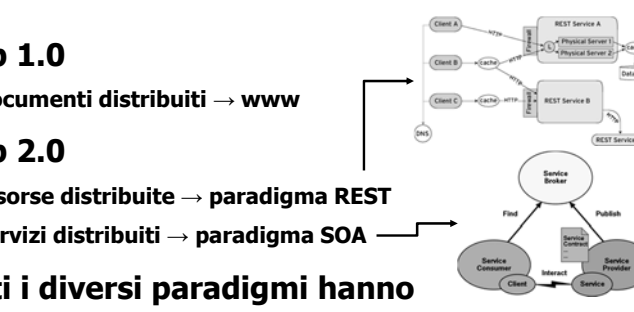
22/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Sistemi distribuiti: *middleware* – 4

- ❑ Web 1.0
 - Documenti distribuiti → *www*
- ❑ Web 2.0
 - Risorse distribuite → paradigma REST
 - Servizi distribuiti → paradigma SOA
- ❑ Tutti i diversi paradigmi hanno alcune problematiche comuni
 - Trasparenza, *naming*, sicurezza



Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

24/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Sistemi distribuiti: *middleware* – 4

	S/O distribuito		S/O di rete	Sistema distribuito basato su <i>middleware</i>
	Multi-processor	Multi-computer		
Grado di trasparenza	Eccellente	Buono	Scarso	Buono
Stesso sistema operativo su ogni nodo	Si	Si	No	No
Istanze di sistema operativo	1	N	N	N
Paradigma di comunicazione	Memoria condivisa	Scambio messaggi	NFS	Svariati
Gestione delle risorse	Centralizzata per risorse globali	Distribuita per risorse globali	Per nodo	Per nodo
Scalability	Nulla	Modesta	Buona	Dipende dal paradigma
Openness	Nulla	Nulla	Buona	Buona

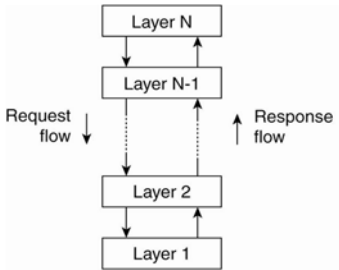
Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

25/34

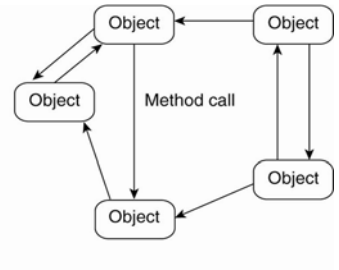


Sistemi distribuiti: introduzione

Stili architetturali – 2



Architettura a livelli



Architettura a oggetti

Tratto da: Tanenbaum & Van Steen, *Distributed Systems: Principles and Paradigms*, 2e, (c) 2007 Prentice-Hall, Inc.

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

27/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Stili architetturali – 1

❑ **Espressi in termini di definizione e uso di**

○ **Componenti (per la produzione e il consumo di dati)**

- Unità modulare coesa dotata di interfacce fornite e richieste ben definite

○ **Connettori (per il flusso di dati e l'interazione tra parti)**

- Mezzo per comunicazione, coordinamento e cooperazione tra componenti

❑ **Alternative comuni**

○ **A livelli**

○ **A oggetti**

○ **Orientate ai dati**

○ **Basate su eventi**

An architectural style is a named collection of architectural design decisions that

- are applicable in a given development context
- constrain architectural design decisions that are specific to a particular system within that context
- elicit beneficial qualities in each resulting system

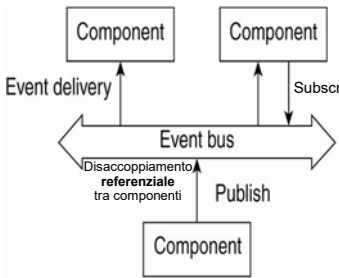
Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

26/34

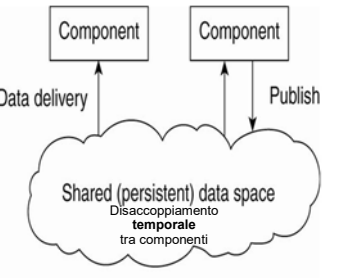


Sistemi distribuiti: introduzione

Stili architetturali – 3



Architettura basata su eventi



Architettura orientata ai dati

Tratto da: Tanenbaum & Van Steen, *Distributed Systems: Principles and Paradigms*, 2e, (c) 2007 Prentice-Hall, Inc.

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

28/34

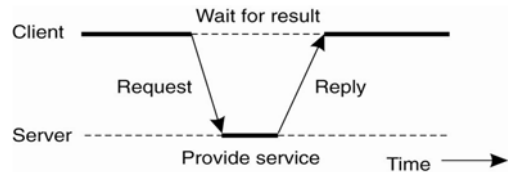
Unipd - SCD 2015/16 - Sistemi Concorrenti e Distribuiti

7



Sistemi distribuiti: introduzione

Architetture centralizzate



```
sequenceDiagram
    participant Client
    participant Server
    Client->>Server: Request
    Note over Server: Provide service
    Server-->>Client: Reply
    Note over Client: Wait for result
```

❑ L'interazione tra cliente e servente implica un comportamento "request-reply"

○ Sorgente del problema prestazionale in Web 1.0

○ Alcune richieste (ma non tutte!) sono idempotenti

- Possono essere ripetute più volte senza causare danni o problemi
- Proprietà molto importante a fronte di comunicazioni inaffidabili
- Rendere affidabile una interconnessione fisica inaffidabile ha costo molto elevato

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

29/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Architetture distribuite – 1

❑ Distribuzione verticale

- Componenti diversi dello stesso servizio possono essere assegnati a elaboratori distinti
 - Sia sul lato servente che sul lato cliente (delegazione parziale)
- Il servizio richiede cooperazione articolata di componenti distribuiti

❑ Distribuzione orizzontale

- Servente e cliente possono essere partizionati ma ogni loro componente può operare da solo
- Ogni componente sa fornire "il" servizio richiesto

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

31/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Architetture distribuite – 1

❑ Due le varianti principali di architetture distribuite di tipo cliente-servente

- In relazione all'organizzazione del servizio e dei suoi dati

❑ Distribuzione verticale

- Con ripartizione di autorità

❑ Distribuzione orizzontale

- Con ripartizione del carico di lavoro

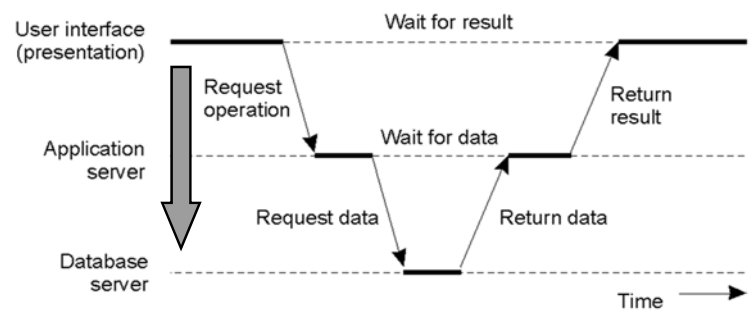
Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

30/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Architetture distribuite – 2



```
sequenceDiagram
    participant UI as User interface (presentation)
    participant AS as Application server
    participant DS as Database server
    UI->>AS: Request operation
    Note over AS: Wait for data
    AS->>DS: Request data
    Note over DS: 
    DS-->>AS: Return data
    AS-->>UI: Return result
    Note over UI: Wait for result
```

Nell'architettura a distribuzione verticale il servente visto dal cliente può essere esso stesso cliente di un componente servente cui sia stata demandata parte del servizio

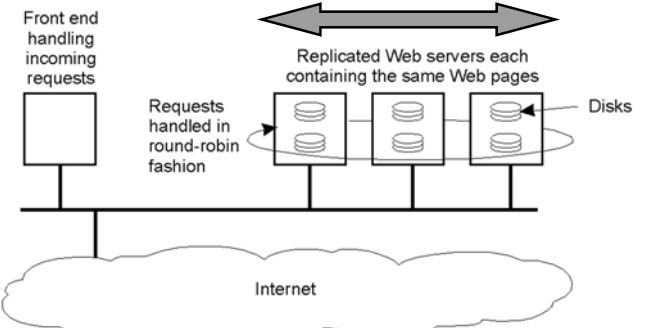
Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

32/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Architetture distribuite – 4



Front end handling incoming requests

Requests handled in round-robin fashion

Replicated Web servers each containing the same Web pages

Disks

Internet

Nell'architettura a distribuzione orizzontale la parte più onerosa del servizio può essere completamente replicata su più elaboratori distinti operanti in parallelo

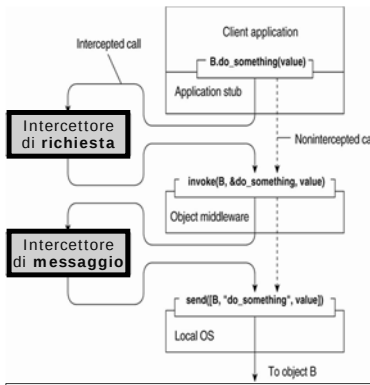
Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

33/34



Sistemi distribuiti: introduzione

Middleware moderno



Client application

B.do_something(value)

Application stub

Intercettore di richiesta

Intercepted call

Nonintercepted call

Invoke(B, &do_something, value)

Object middleware

Intercettore di messaggio

Local OS

send(B, "do_something", value)

To object B

❑ Un approccio architetturale al *middleware* offre

○ Semplicità progettuale

○ Scarsa adattabilità

❑ Un approccio più flessibile si basa su

○ “*Separation of concerns*”

○ “*Computational reflection*”

○ Progettazione per componenti e connettori

• Gli intercettori in figura mostrano il posizionamento logico dei connettori

Tratto da: Tanenbaum & Van Steen, *Distributed Systems: Principles and Paradigms*, 2e, (c) 2007 Prentice-Hall, Inc.

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

34/34

Unipd - SCD 2015/16 - Sistemi Concorrenti e Distribuiti

9