



# Middleware ad Agenti Mobili per i nuovi Servizi Internet



Paolo Bellavista  
pbellavista@deis.unibo.it  
Dip. Elettronica, Informatica e Sistemistica (DEIS)  
Università di Bologna

Riferimenti Web: <http://lia.deis.unibo.it/Staff/PaoloBellavista/>  
<http://lia.deis.unibo.it/Research/SOMA/>

Paolo Bellavista - Reti di Calcolatori - 11/11/02

1

## Sommario della Presentazione

- ✓ **Perché** gli Agenti Mobili?
- ✓ Panoramica sui **Domini Applicativi**
- ✓ **Piattaforme** ad Agenti Mobili:  
**Middleware** per il **supporto** a servizi ad  
agenti mobili
- ✓ **SOMA**: attuali **domini applicativi** di impiego e  
linee guida per **futuri servizi**

Paolo Bellavista - Reti di Calcolatori - 11/11/02

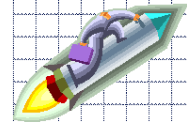
2

## Perché Codice Mobile?

Lo scenario **Internet** ➡ accento sulle parole chiave:  
**distribuzione e mobilità**

- **Nomadic/Roaming user**

Utente vuole utilizzare i **propri dati e servizi** **indipendentemente** dal punto di accesso alla rete, dal dispositivo utilizzato e dalla posizione corrente

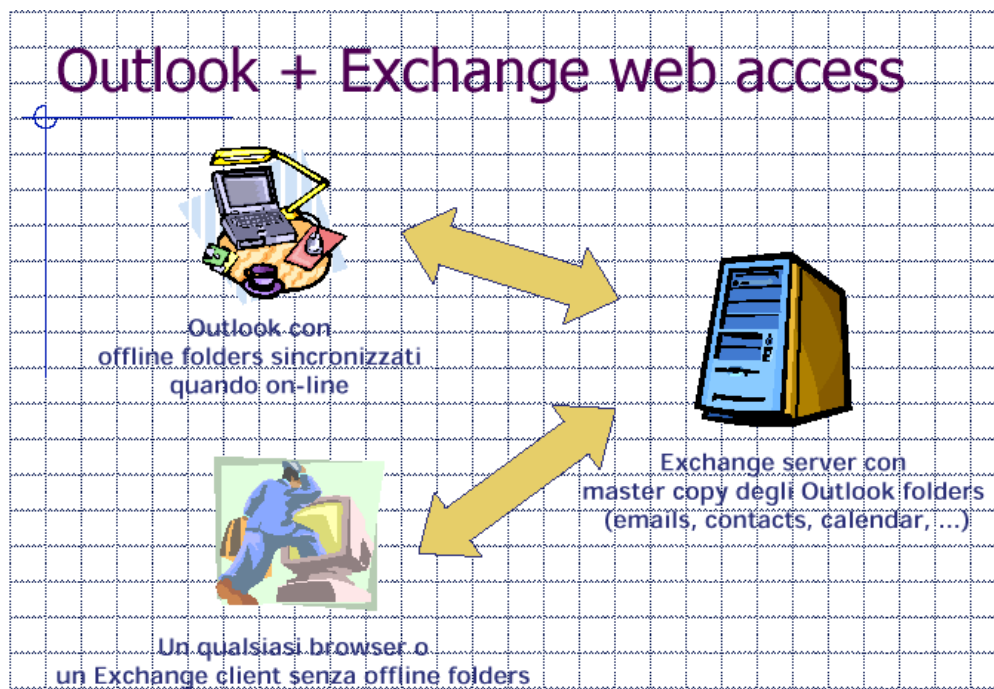


- **Nomadic/Roaming device & resource**

**Terminali e risorse** di esecuzione devono essere in grado di operare **ovunque** esse si trovino



## Un Esempio di Servizio per Nomadic Computing



## Codice Mobile

Internet + Mobile Computing (utenti, terminali e risorse)

verso paradigmi di programmazione più **flessibili**  
del tradizionale modello cliente/servitore



Tutti basati su **Codice Mobile**

- **Remote Evaluation** (elastic/extensible server, ...)
- **Code on Demand** (Java applet)
- **Mobile Agent** (Telescript, IBM Aglet, Ajanta, SOMA, ...)

**Ortogonalità** fra mobilità di utente, terminale e codice, ma...

## Paradigmi di Programmazione

Codice mobile e **Tassonomia** dei paradigmi di  
programmazione (Fuggetta et al., IEEE TSE, Maggio 1998)

Paradigm	Before		After	
	S <sub>A</sub>	S <sub>B</sub>	S <sub>A</sub>	S <sub>B</sub>
Client-server	A	Know-how, resource, B	A	Know-how, resource, B
Remote Evaluation	Know-how, A	Resource, B	A	Know-how, resource, B
Code on Demand	Resource, A	Know-how, B	Resource, know-how, A	B
Mobile Agent	Know-how, A	Resource	-	Know-how, resource, A

## Tecnologia ad Agenti Mobili

### Def. *Agenti Mobili*

entità computazionali che **operano per conto** di un **responsabile (principal)** e che possono decidere **autonomamente** run-time di **migrare (codice + dati + stato di esecuzione)** verso un nuovo ambiente di esecuzione ospitante, per **proseguire** là le proprie operazioni

Che cosa c'è di nuovo?

- Mobilità **non solo** per motivi di **performance**
- Mobilità a livello di **Internet**
- Mobilità **controllabile** dal programmatore
- Programmazione **location-aware**

**Servono linguaggi + supporti run-time**

## Domini Applicativi: una Panoramica (1)

Tutti gli scenari applicativi su **sistemi globali** che possono trarre vantaggio da **località nell'accesso** alle risorse, da **asincronicità** rispetto all'**utente**, da aggiornamento/trasferimento dinamico di **comportamento** e **stato** raggiunto

### 1) *Gestione integrata di reti, sistemi e servizi*

**Telecom:** controllo del traffico e resource management  
(*Intelligent Network, Active Network, Programmable Network, ...*)

**Monitoraggio QoS** e azioni di **adattamento** dinamico  
(RSVP tunneling, software-based QoS,  
format transcoding e multicast optimization, ...)

## Domini Applicativi: una Panoramica (2)

### 2) *Supporto al mobile computing*

- **user mobility** (Virtual Home Environment)
- **terminal mobility** (connettività, discovery, nomi locali/globali, quale trasparenza?)
- **resource mobility** (rebinding dinamico verso clienti e server, location awareness, quale trasparenza?)

### 3) *Reperimento autonomo di informazioni context-aware*

**località e intelligenza** nell'accesso a dati eterogenei e distribuiti

es. notevole: *location-dependent information service*

**personal assistant** (profilazione utente, tailoring, adattamento dinamico a terminali di accesso, shopbot, ...)

**sistemi di caching** a livello applicativo

## Domini Applicativi: una Panoramica (3)

### 4) *E ancora...*

- **Peer-to-Peer** computing  
(Ad-hoc **NET**work, **Mobile Ad-hoc NET**work, servizi MANET e location-dependent, file system distribuiti)
- **Prototipazione rapida** di protocolli  
(anche deployment dinamico di protocolli **application-specific**)
- Servizi **collaborativi** su scala globale  
(file system distribuiti, applicazioni workflow, *multicast*, eventi distribuiti, ...)

## Piattaforme ad Agenti Mobili

Alcuni **trend emergenti** nei sistemi ad agenti mobili:

- adozione di **Java** programming environment
- **weak mobility**
- piattaforme come **middleware di servizi**,



modularità e flessibilità (importanti indicazioni dai domini applicativi)

Servizi middleware per:

- |                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| 1) mobilità                 | 2) sistemi di nomi  |
| 3) sicurezza                | 4) interoperabilità |
| 5) modello computazionale   | 6) comunicazione    |
| 7) monitoraggio e controllo |                     |

## Servizi Middleware per Agenti Mobili: **Mobilità**

### • **Strong mobility**

**tutto lo stato** catturato a livello di thread/processo

migrazione in **qualsiasi punto** di esecuzione  
(fault tolerance, load balancing)

Agent TCL, Sumatra, Ara, Nomads, ...

### • **Weak mobility**

**strutture dati** definite nel programma

richiesta **esplicita** di migrazione

Mole, Aglets, Concordia, Voyager, Ajanta, Grasshopper, SOMA

**Multi-** or  
**Single**  
threaded  
agents?

Trasferimento di codice **tutto** alla migrazione, o **on-demand**

(disconnected environment???)

## Servizi Middleware per Agenti Mobili: **Sistemi di Nomi**

Spazi di nomi **strutturati gerarchicamente**

(scalabilità in sistemi globali)

**astrazioni di località** di dominio/regione e place

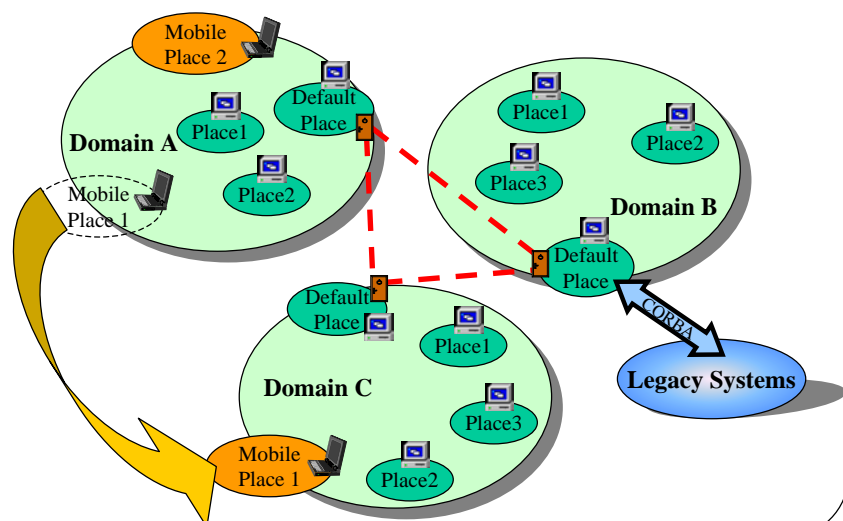
**Integrazione di differenti sistemi** di nomi:

- **globally unique identifier** (meccanismo base, assegnamento dinamico)
- servizi di **registrazione ad hoc** (locali, di domino, o globali)
- servizi di **discovery** (SSDP, *Jini discovery*, SLP, *Salutation*, ...)
- servizi di **direttorio standard** (CORBA Naming&Directory, LDAP)

## Astrazioni di Località in SOMA

**Gerarchia ad un livello** di astrazioni di località per la **modellazione** di ogni possibile scenario di esecuzione in un sistema distribuito globale.

- Dominio (LAN)
- Place
  - Default Place (gateway)
  - Mobile Place

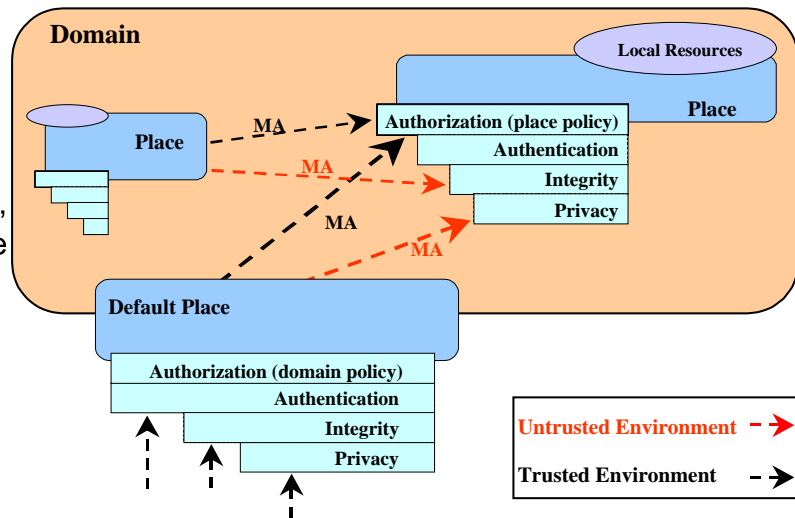


## Servizi Middleware per Agenti Mobili: **Sicurezza**

• **Meccanismi** (in SOMA, meccanismi di crittografia by IAIK)

• **Politiche** (in SOMA, estensione delle politiche di sicurezza di Java 2; Role-based Access Control)

• **Infrastrutture** (in SOMA *PKI* by Entrust)



**Flessibilità:** grado di libertà degli sviluppatori per il livello di sicurezza più appropriato

## Servizi Middleware per Agenti Mobili: **Interoperabilità**

**Obiettivo** fornire **interfacce interoperabili** per superare la possibile **eterogeneità** tra:

- agente/agente
- diversi sistemi ad agenti
- agente/contesto di esecuzione

### ➔ **Integrazione con standard**

- **standard diffusi** nell'area degli oggetti distribuiti (*CORBA*)
- **standard emergenti** per la tecnologia degli agenti mobili (*OMG MASIF, FIPA, ...*)

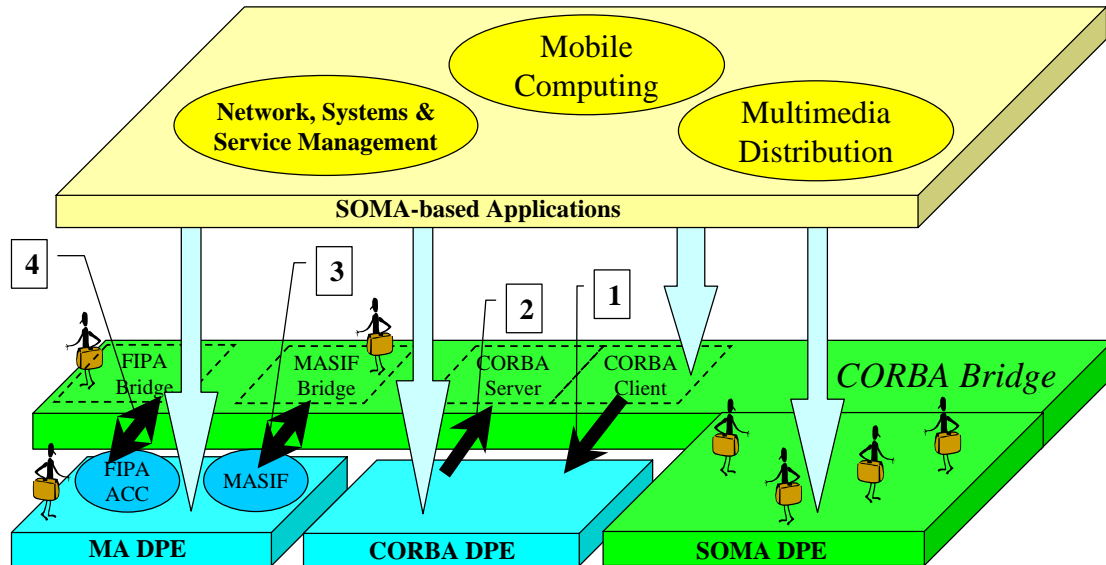
**MASIF** - **interoperabilità di nomi**  
- **trasferimento** agenti

**FIPA** - **architettura** per piattaforme  
- **comunicazione** interop.  
- **NO** mobilità



# Implementazione dell'Interoperabilità in SOMA

- |   |                                |   |                          |
|---|--------------------------------|---|--------------------------|
| 1 | Agenti SOMA come clienti CORBA | 3 | Interoperabilità MASIF   |
| 2 | Agenti SOMA come server CORBA  | 4 | FIPA Agent Comm. Channel |



Paolo Bellavista - Reti di Calcolatori - 11/11/02

17

## Servizi Middleware: **Modello Computazionale**

- Generalmente, un semplice modello **event-driven**  
(at migration, dispatch, arrival, ...)
- **Fixed/Programmer-specified** entry point
- Supporto al concetto di **itinerario**  
possibilità di specificare anche **piani complessi e migration pattern**
- **Sincronizzazione** fra agenti
- Problema della **generazione** di agenti:  
supportare una `agent.fork()`?

Paolo Bellavista - Reti di Calcolatori - 11/11/02

18

## Servizi Middleware per Agenti Mobili: **Comunicazione**

Supporto alla **comunicazione** fra **agenti**

- **locale/remota**
- **sincrona/asincrona**
- **unicast, multicast, broadcast**
- **indiretta** (NO conoscenza del partner di comunicazione)

Tecnologie:

- scambio messaggi **connection-oriented** (ad es. *TCP/IP*)
- scambio messaggi **connection-less**
- **condivisione oggetti locali**
- **blackboard e spazi di tuple**  
(com. **disaccoppiata** nel tempo ma non nello spazio)

## Servizi Middleware: **Monitoraggio e Controllo**

Poter monitorare e controllare **non solo** gli **agenti mobili**,  
ma anche ogni **servizio/sistema**

Obiettivi:

### 1) **Monitoraggio e controllo del QoS**

(come avere **visibilità** dello stato di sistemi/servizi  
dall'interno dalla macchina virtuale Java?)

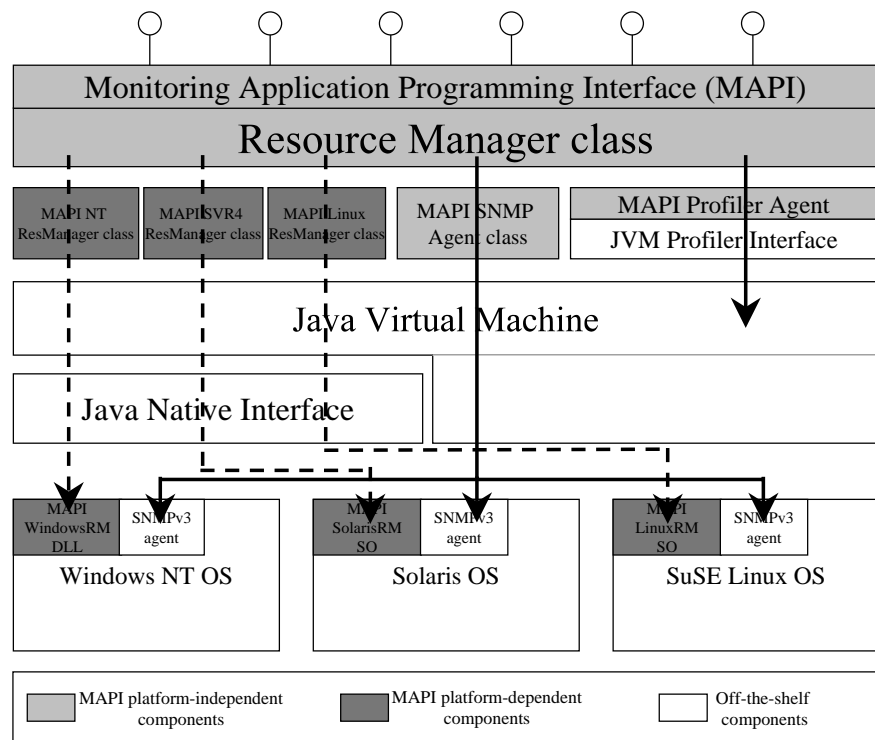
### 2) **Fault-Tolerance**

(meccanismi per la **persistenza**, protocolli di **recovery**,  
gestione distribuita delle **eccezioni**, ...)

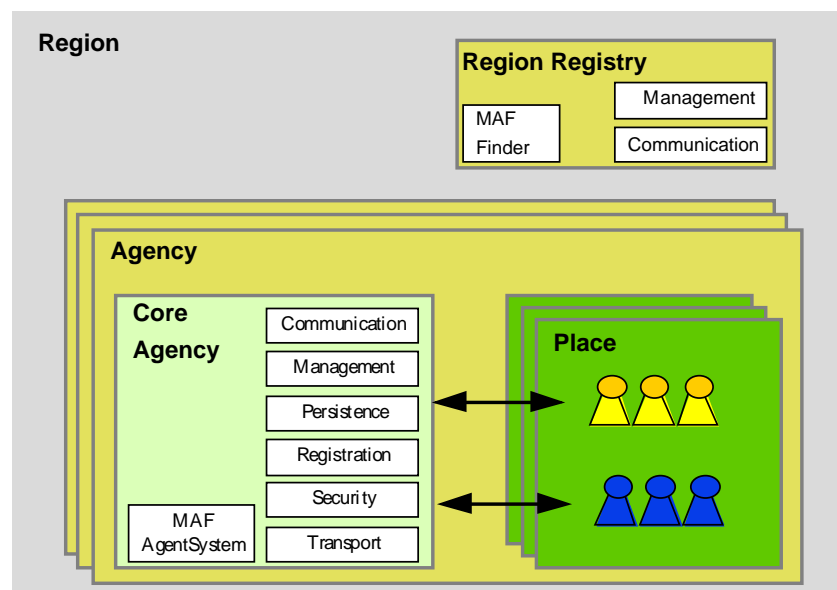
## Servizi Middleware: **Monitoraggio e Controllo**

### Visibilità Stato:

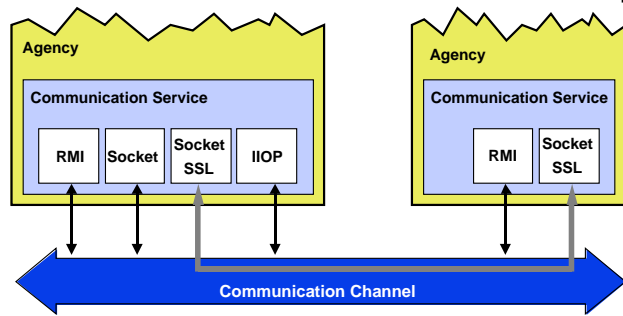
- **kernel**  
(JNI, SNMP)
- **applicativo**  
(programmi Java via JVMPI, altri processi via JNI)



## Sistemi ad agenti come Piattaforme di Servizi Middleware: **Grasshopper (1)**

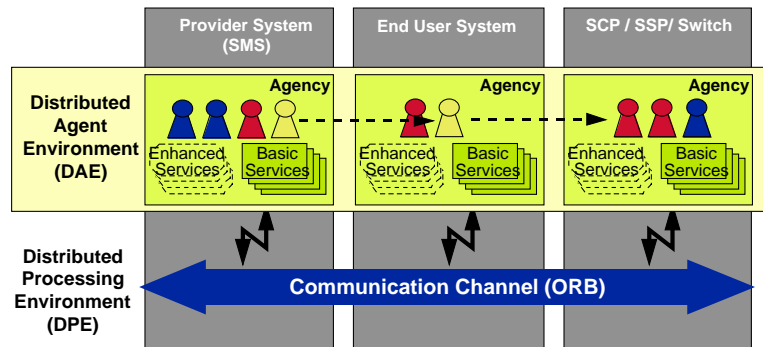


## Sistemi ad agenti come Piattaforme di Servizi Middleware: Grasshopper (2)

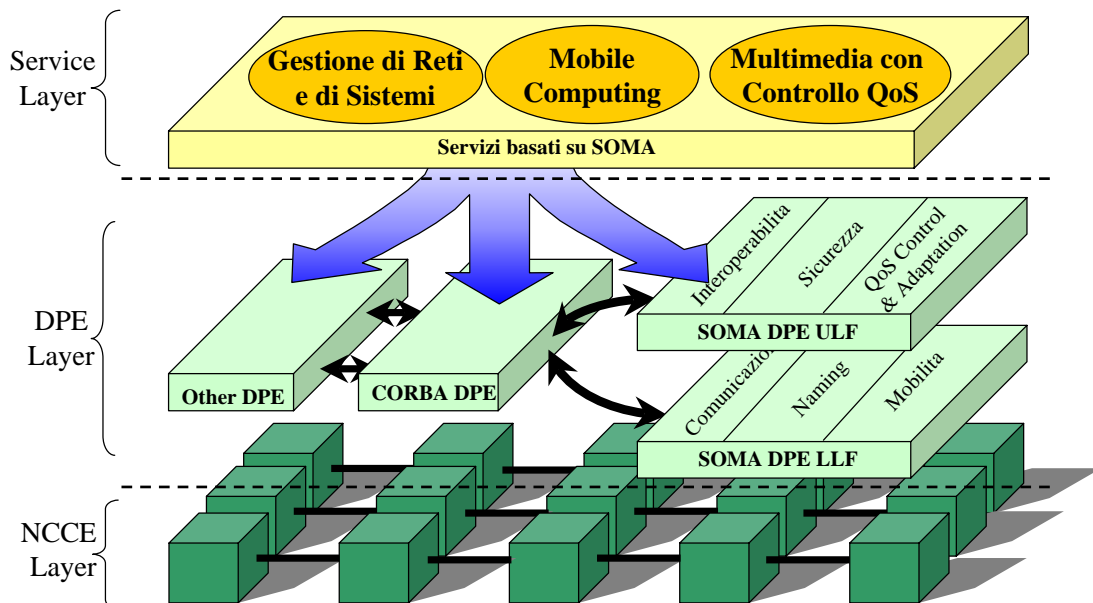


Supporto *integrato* a *differenti* tipologie di *canali di comunicazione*

Vasto utilizzo nel campo *telecom* (management IN) e recentemente *mobile computing* (enago)



## L'Architettura a Livelli di SOMA



DPE: Distributed Processing Environment

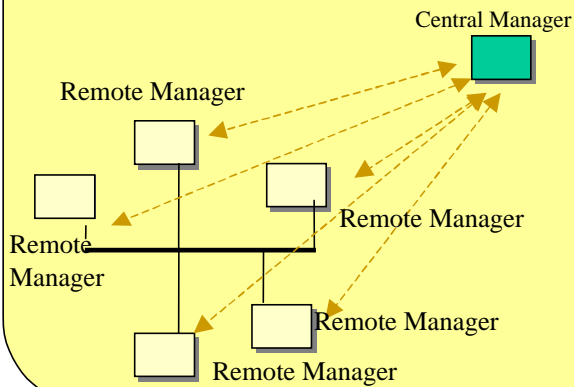
ULF: Upper Layer of Facilities

NCCE: Native Computing and Communications Environment

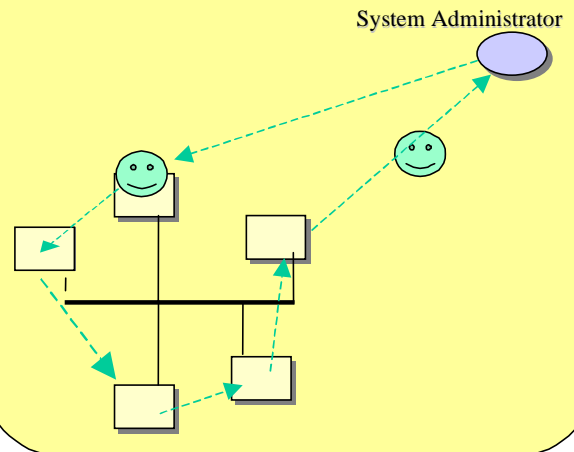
LLF: Lower Layer of Facilities

## Gestione Integrata di Reti, Sistemi e Servizi (1): Agenti Mobili vs. Client/Server

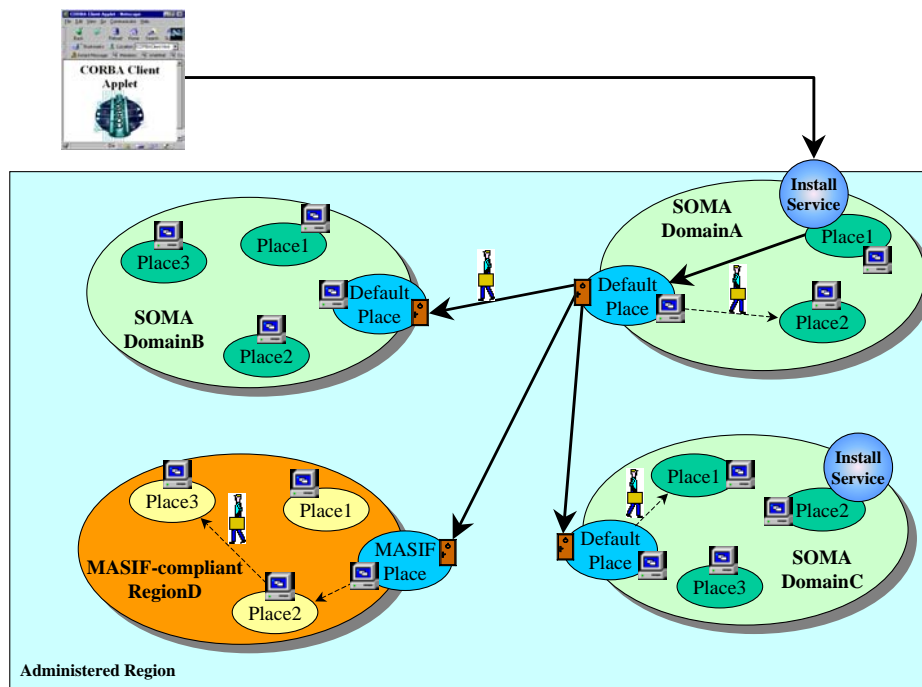
### Soluzione di management centralizzato



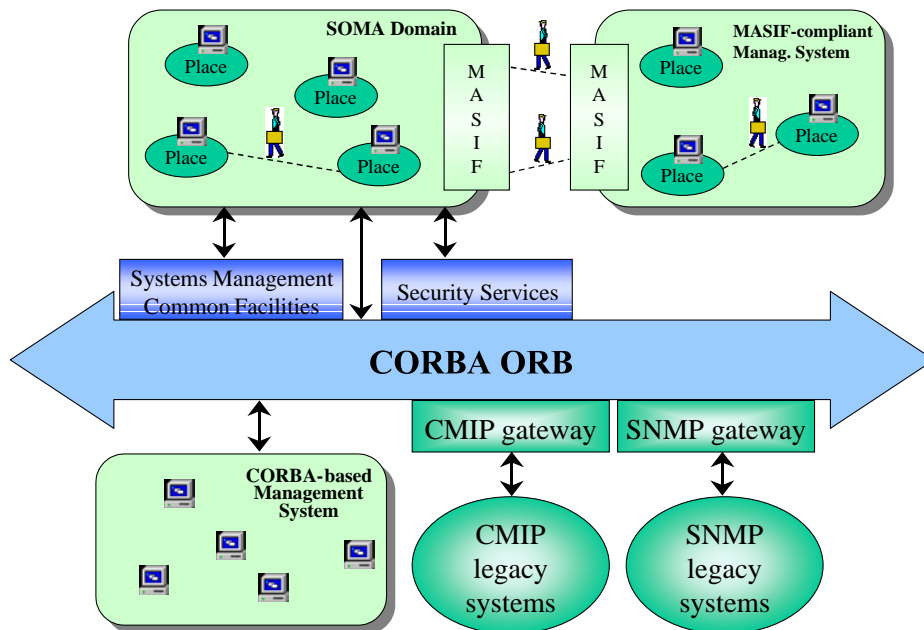
### Soluzione ad agenti mobili



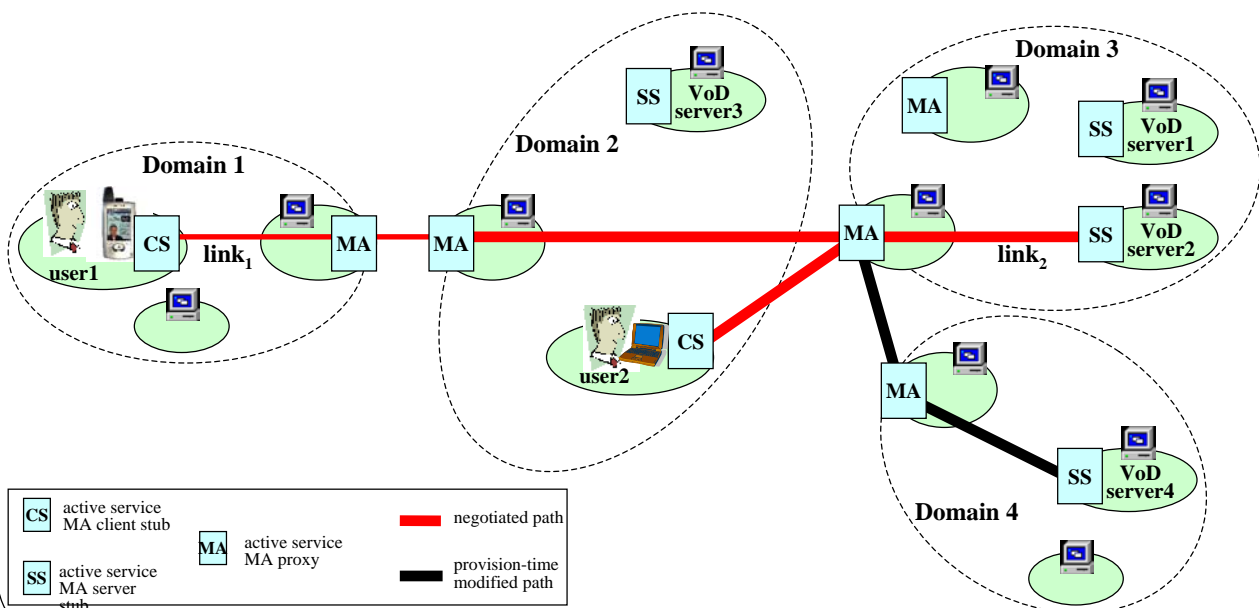
## Gestione Integrata di Reti, Sistemi e Servizi (2): Installazione Remota



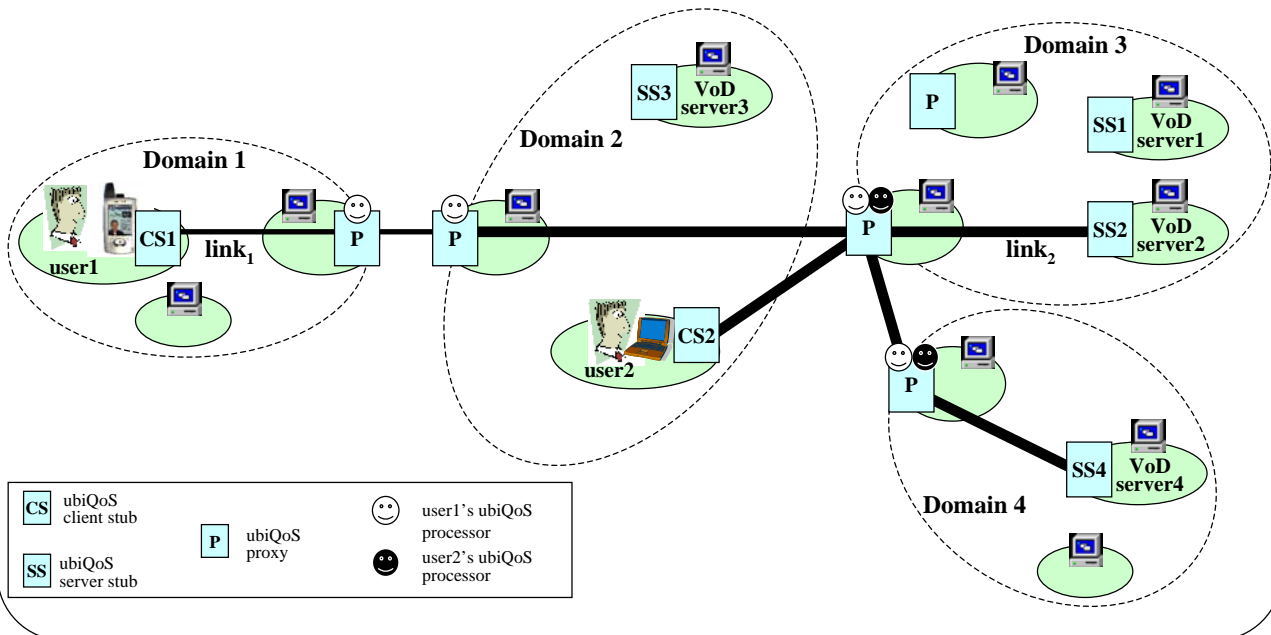
## Gestione Integrata di Reti, Sistemi e Servizi (3): Network Management



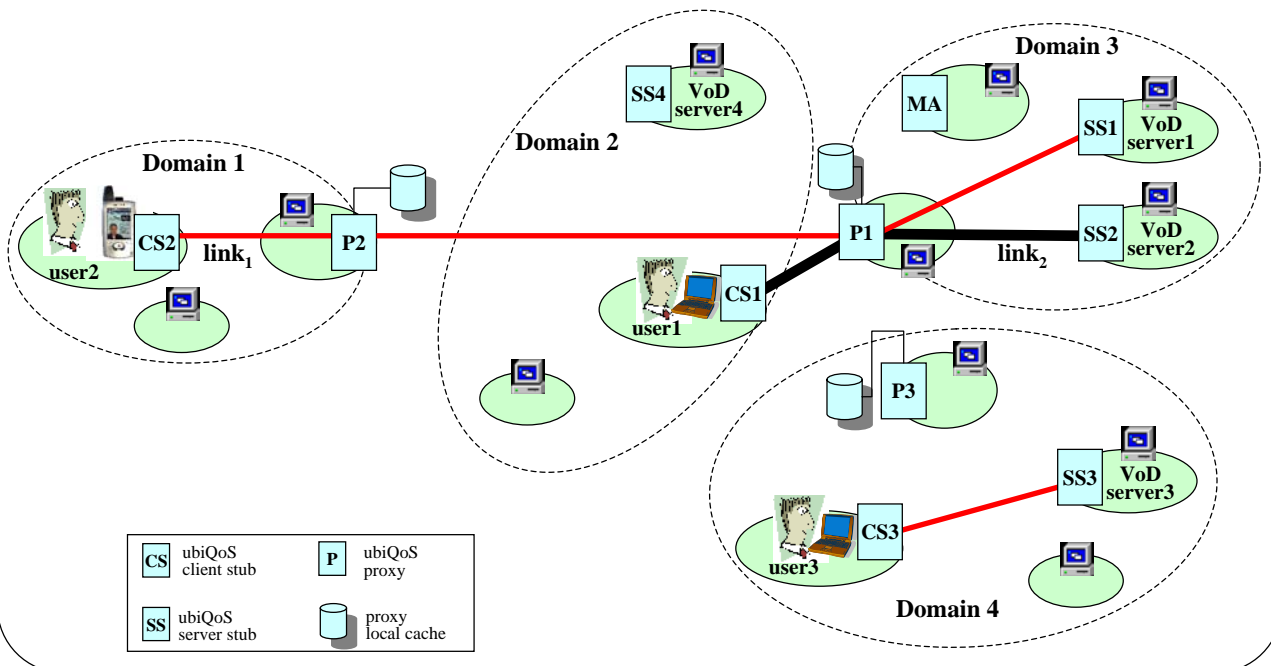
## Tailoring e Adattamento di QoS in Video on Demand: ubiQoS



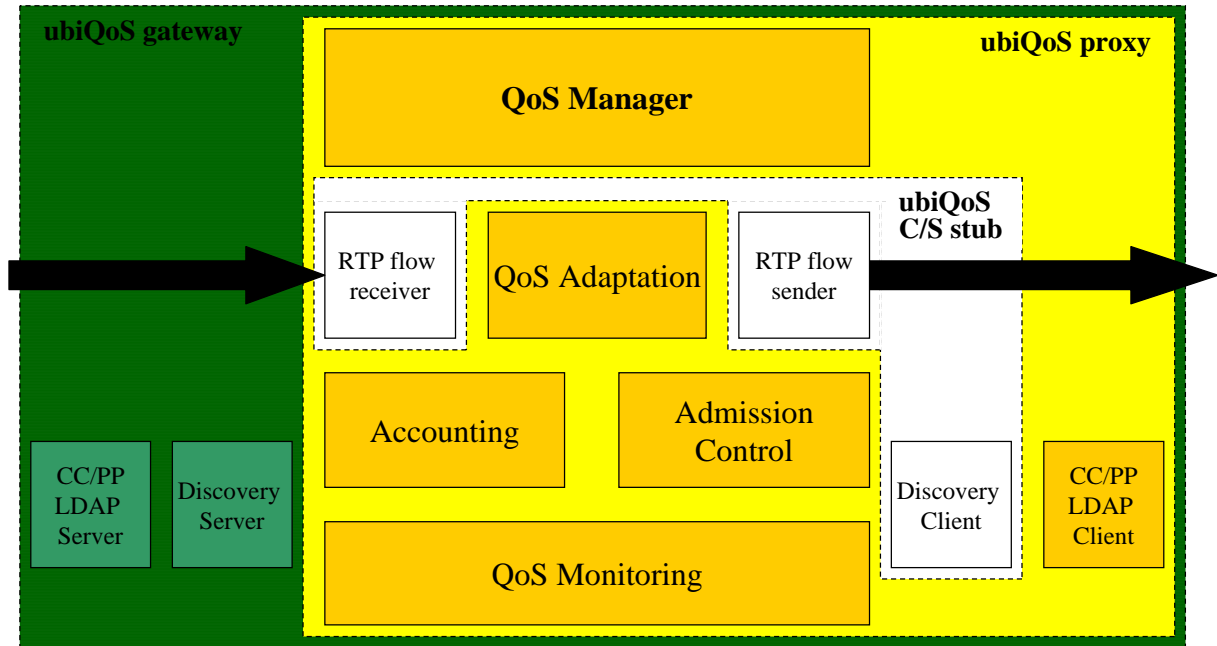
# ubiQoS e Agenti Mobili SOMA



# ubiQoS: altri requisiti di sistema, ad es. *caching*

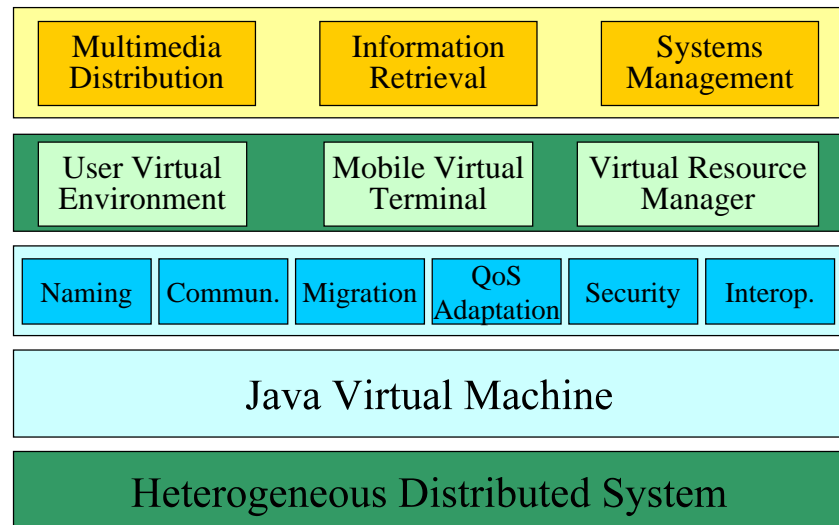


## ubiQoS: architettura dei componenti



## Supporto al Mobile Computing (1): Mobilità di Utenti, Terminali e Risorse

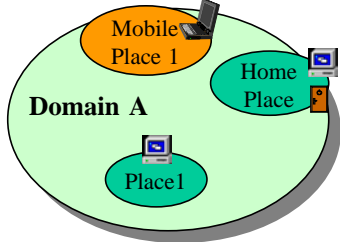
- **User Mobility**  
*Virtual Home Env.*
- **Terminal Mobility**  
*Mobile Place*
- **Resource Mobility**  
*Servizi di Tracing e Discovery*



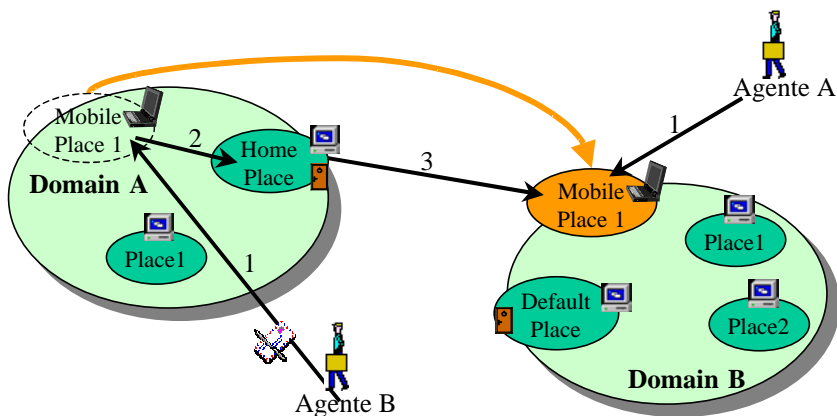


## Supporto al Mobile Computing (2): Terminali Mobili in SOMA

Creazione di un Place Mobile



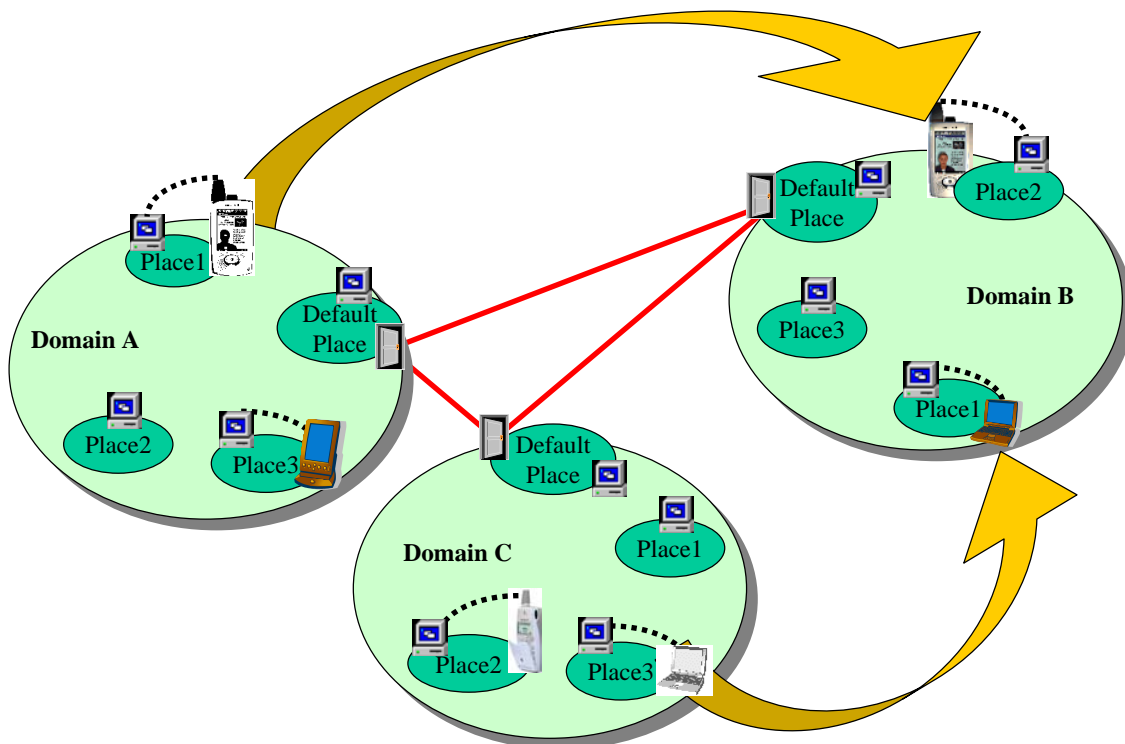
Agenti/messaggi consegnati ad un Place Mobile



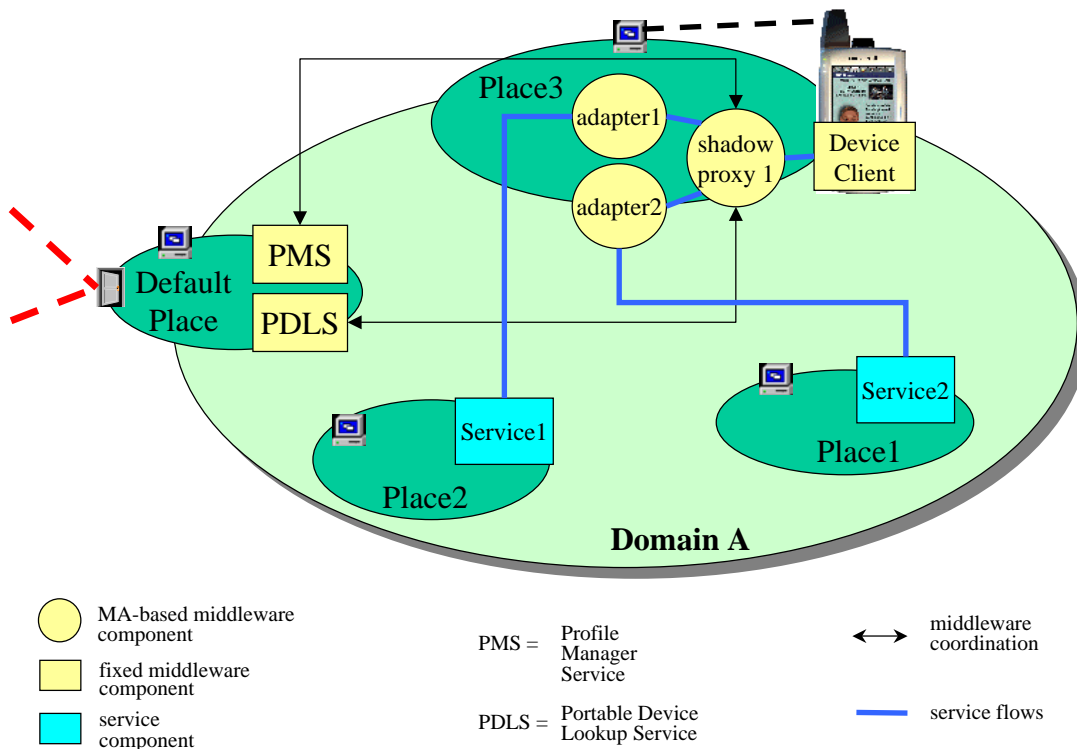
**Agente A** raggiunge immediatamente il Place Mobile

**Agente B/messaggio** cerca di raggiungere il Place Mobile già migrato; **tunneling** attraverso *home place*

## Supporto al Mobile Computing (3): Device Portabili



## Supporto al Mobile Computing (4): Device Portabili



Paolo Bellavista - Reti di Calcolatori - 11/11/02

35

## Device Portabili in SOMA

Verso *l'integrazione* di dispositivi, con *limitate* risorse hardware/software, *assistiti da proxy mobili* che li seguono durante tutta la sessione di servizio

- ✓ **Tailoring dei servizi** non solo in dipendenza delle *preferenze utente* ma anche delle *capacità del dispositivo di accesso* (profili - RDF, W3C CC/PP, IETF Conneg, ...)

E inoltre: corrente *punto di accesso* alla rete, *disponibilità* corrente di risorse distribuite, *politica gestione* risorse...

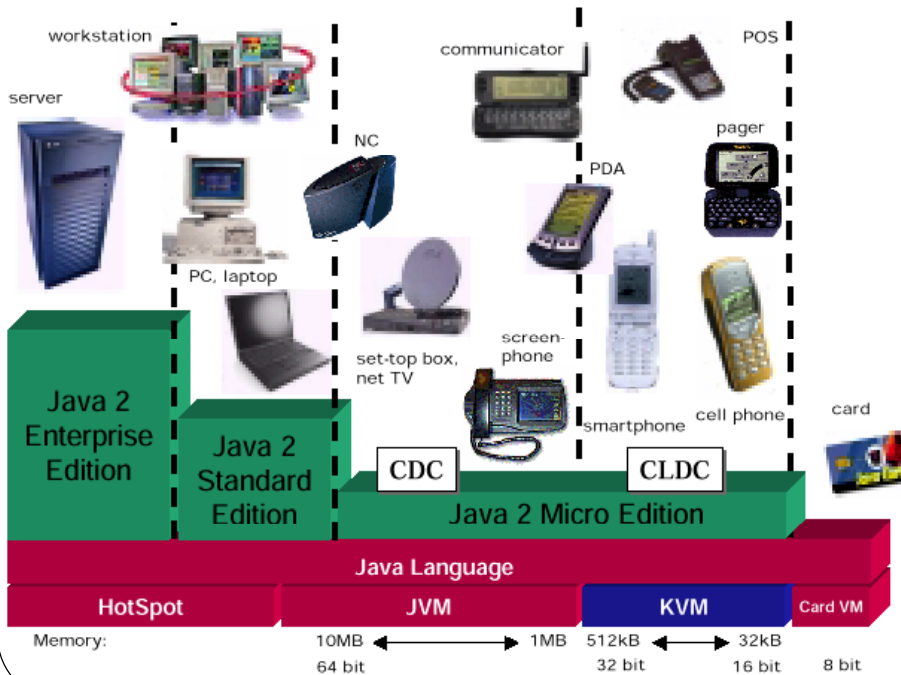
### ✓ J2ME

- KVM/CLDC/MIDP
- CVM/CDC/Foundation
- PersonalJava?

Paolo Bellavista - Reti di Calcolatori - 11/11/02

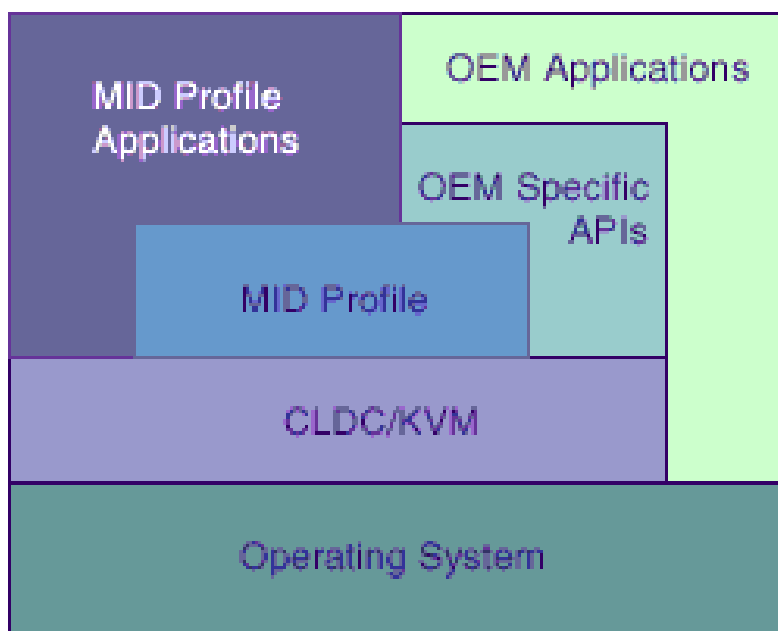
36

## Java Edition: macchine virtuali, configurazioni, profili



Come mettere insieme **sistemi MA e JVM limitate?**  
È possibile?

## Java Edition: macchine virtuali, configurazioni, profili



### Esempio su MIDP

- **Modello** di progettazione e sviluppo delle applicazioni
- **Compatibilità** fra dispositivi eterogenei

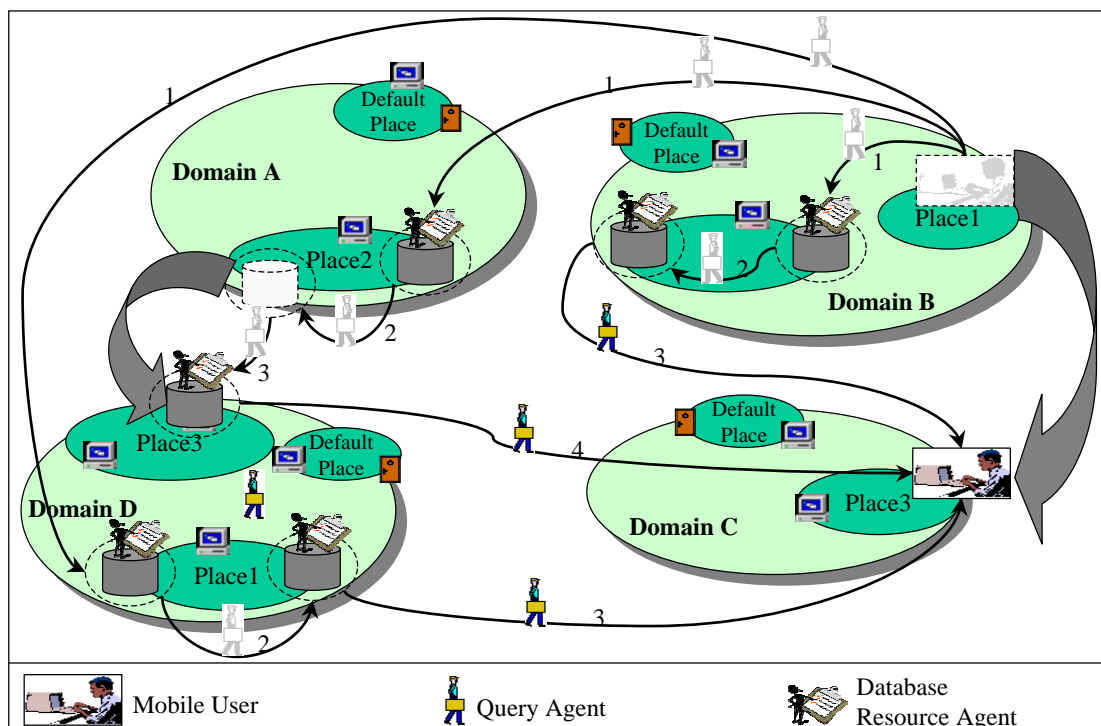
## Servizi Informativi *Location/Context-aware* (1)

Nozione di **contesto** (insieme di **risorse logiche** accessibili per un cliente, in dipendenza da preferenze, dispositivo usato, storia interazioni precedenti, risorse consumate, ...)

**Locazione** come caso particolare di contesto

- ✓ Descrizione delle **caratteristiche delle entità** tramite metadati  
➔ **profili** (per preferenze utente, caratteristiche dispositivi cliente, interfacce di servizio, ...)
- ✓ Descrizione **dichiarativa gestione** del sistema ad alto livello  
➔ **politiche** (per binding, adattamento, mobilità, ...)

## Servizi Informativi *Location/Context-aware* (2)



## Bibliografia (1)

### Paradigma di programmazione e sistemi MA:

- Int. Symp. on Mobile Agents, **MA '98/'01**, 1998 e 2001.
- Int. Symp. on Agent Systems and Applications; Int. Symp. on Mobile Agents, **ASA/MA '99/'00**, IEEE Computer Society, 1999 e 2000.
- Int. Workshop on Mobile Agents for Telecommunications Applications, **MATA/MA '02** (dal 2002 congiunto con MA)
- G. Vigna, ed., **Mobile Agents and Security**, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1419, Springer-Verlag, 1998.
- A. Fuggetta, G.P. Picco, and G. Vigna, "Understanding Code Mobility", **IEEE Transactions on Software Engineering**, Vol. 24, No. 5, May 1998.
- N. M. Karnik et al., "Design Issues in Mobile-Agent Programming Systems", **IEEE Concurrency**, Vol. 6, No. 3, Sep. 1998.

### Correlati:

- Riviste recenti come **IEEE Pervasive Computing** magazine.
- Conferenze come **ACM MobiSys** (Mobile Systems, Applications and Services), **ACM MUM** (Mobile and Ubiquitous Multimedia), **MDM** (Mobile Data Management) e tante altre...
- K. Psounis, "Active Networks: Applications, Security, Safety, and Architectures", **IEEE Communications Surveys**, <http://www.comsoc.org/pubs/surveys>, 1999.

## Bibliografia (2)

### ...continua Correlati:

- D. Chalmers, M. Sloman, "A Survey of Quality of Service in Mobile Computing Environments", **IEEE Communications Surveys**, <http://www.comsoc.org/pubs/surveys>, 1999.
- J. Bolliger, "A Framework-based Approach to the Devel. Network-aware Applications", **IEEE Transactions on Software Engineering**, Vol. 24, No. 5, May 1998.
- G. G. Richard III, "Service Advertisement and Discovery: Enabling Universal Device Cooperation", **IEEE Internet Computing**, Vol. 4, No. 5, Sep.-Oct. 2000.
- C. Perkins (ed.), Special Section on "Autoconfiguration", **IEEE Internet Computing**, Vol. 3, No. 4, July 1999.
- A. Fasbender, F. Reichert, E. Geulen, J. Hjelm and T. Wierlemann, "Any Network, Any Terminal, Anywhere", **IEEE Personal Communications**, Vol. 6, No. 2, Apr. 1999.
- L. Capra, W. Emmerich, C. Mascolo, "Middleware for Mobile Computing", in fase di pubblicazione **ACM Computing Surveys**.

### Domini applicativi:

- S. K. S. Gupta, W.-C. Lee, A. Purakayastha, P. K. Srimani (eds.), Special Section on "An Overview of Pervasive Computing", **IEEE Personal Communications**, Vol. 8, No. 4, Aug. 2001.
- T. Lewis, "Information Appliances: Gadget Netopia", **IEEE Computer**, Vol. 31, No. 1, Jan. 1998.

## Bibliografia (3)

...continua Domini applicativi:

- D. Kotz et al., "Agent TCL: Targeting the Needs of Mobile Computers", **IEEE Internet Computing**, Vol. 1, No. 4, July 1997.
- S. Lipperts, "An Agent-based Middleware: a Solution for Terminal and User Mobility", **Computer Networks**, Vol. 31, Sep. 1999.
- J. Jing et al., "Client-Server Computing in Mobile Environments", **ACM Computing Surveys**, Vol. 31, No. 2, June 1999.
- P. Bellavista, A. Corradi, C. Stefanelli, "Mobile Agent Middleware for Mobile Computing", **IEEE Computer**, Vol. 34, No. 3, March 2001.
- P. Bellavista, A. Corradi, C. Stefanelli, "The Ubiquitous Provisioning of Internet Services to Portable Devices", **IEEE Pervasive Computing**, Vol. 1, No. 3, July-Sep. 2002.
- X. Xipeng and L.M. Ni, "Internet QoS: a Big Picture", **IEEE Network**, Vol. 13, No. 2, Mar. 1999.
- R. Koster and T. Kramp, "Structuring QoS-Supporting Services with Smart Proxies", **IFIP/ACM Int. Conf. Middleware 2000**, Springer-Verlag, Apr. 2000.
- A. T. Campbell, "QoS-aware Middleware for Mobile Multimedia Communications", **Multimedia Tools and Applications**, Vol. 7, No. 1-2, pp. 67-82, 1998.
- T. White et al., "Network Modeling for Management Apps. Using Intelligent Mobile Agents", **Journal of Network and Systems Management**, Vol.7, No.3, Sep. 1999.

## Bibliografia (4)

...continua Domini applicativi:

- P. Bhagwat et al., "Network Layer Mobility: an Architecture and Survey", **IEEE Personal Communications**, Vol. 3, No. 3, June 1996.
- J.S. Hansen et al., "Dynamic Adaptation of Network Connections in Mobile Envs.", **IEEE Internet Computing**, Vol. 2, No. 1, Jan. 1998.
- A. Fox et al., "Adapting to Network and Client Variation Using Infrastructural Proxies: Lessons and Perspectives", **IEEE Pers. Communications**, Vol. 5, No. 5, Oct. 1998.
- F. Kon, R. H. Campbell, K. Nahrstedt, "Using Dynamic Configuration to Manage a Scalable Multimedia Distribution System", **Computer Communications**, Vol. 24, No. 1, Jan. 2001.
- W. Marshall, C. Roadknight, "Provision of Quality of Service for Active Services", **Computer Networks**, Vol. 36, No. 1, June 2001.
- M. Baldi, G. P. Picco, F. Risso, "Designing a Videoconference System for Active Networks", **Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Workshop on Mobile Agents (MA'98)**, 1998.
- E. Amir, S. McCanne, R. Katz, "An Active Service Framework and its Application to Real-time Multimedia Transcoding", **Proc. ACM SIGCOMM Conf.**, 1998.
- W3 Consortium, Composite Capability/Preference Profiles (CC/PP) Working Group, <http://www.w3.org/Mobile/CCPP/>