

Sistemi ad agenti intelligenti



Andrea Omicini

DEIS – Università di Bologna

Scopo del seminario



- Impossibile in 2 ore
 - essere esaustivi
 - fornire una panoramica completa
- Possibile in 2 ore
 - i sistemi ad agenti intelligenti: *cosa e perché*
 - comprendere le problematiche fondamentali
 - fornire molteplici *chiavi di accesso* al settore

Outline



- Il contesto
- Cos'è un agente
- Cos'è un agente intelligente
- Cos'è un sistema ad agenti
- I problemi aperti
- Ingegneria dei/coi sistemi ad agenti
- Conclusioni

I contesti



- Il contesto applicativo
- Il contesto di ricerca

Il contesto applicativo



- Sistemi complessi
 - SW/HW/anyware
- Internet come caso di interesse
 - sistema aperto, eterogeneo, decentralizzato, altamente dinamico, non predicibile
- Sistemi “intelligenti”
 - intelligenza osservabile & ubiqua

Il contesto di ricerca



- Convergenza di varie aree
 - Intelligenza artificiale (distribuita) – DAI
 - Sistemi paralleli e distribuiti – P&D
 - Linguaggi e paradigmi di programmazione – PL
 - Ingegneria del software – SE
 - Robotica – R
- Conflitto
 - cosa diamine è un agente?

Un agente-DAI è “intelligente”



- ha una rappresentazione del mondo
- è situato nel mondo
- risolve un problema che richiede intelligenza
- delibera / pianifica
- flessibile
- adattabile
- impara

Un agente rappresenta il mondo



- cosa rappresentare
 - cosa è rilevante, cosa no
 - rappresentazione parziale del mondo
- come rappresentare
 - linguaggi e formalismi KR
- come mantenere la rappresentazione
 - consistenza della conoscenza
 - percezione di un mondo dinamico
 - rapporto tra percezione e rappresentazione

Un agente risolve problemi



- può trovare soluzioni
 - nuova conoscenza
 - capacità inferenziali
- può cambiare il mondo
 - “attuatori”
 - capacità limitata

Un agente delibera e pianifica

- ha uno scopo da perseguire
 - goal, task
 - rappresentato implicitamente o esplicitamente
- conosce le sue capacità
 - azioni ed effetti
 - rappresentazione
 - relazione con percezione
- sa costruire un piano d'azione
 - pianificazione
 - verifica

Un agente è flessibile e adattabile



- *?!?!?*
 - cosa vuol dire?
 - rispetto a cosa?
- può cambiare goal?
- può risolvere diversi problemi in diversi contesti, o con contesto dinamico?
- può cambiare strategia?
- proprietà apparentemente intuitiva...

Un agente impara

- apprendimento $\neq$ percezione dinamica
- apprendimento $\neq$ cambiamento di stato
- apprendimento
 - nuove conoscenze
 - nuove leggi del mondo
 - nuove regole di inferenza?
- machine learning, abductive/inductive reasoning, data mining, reti neurali, ...

Riassumendo, un agente-DAL...

- ha una rappresentazione parziale del mondo
- ha una percezione del mondo limitata ma dinamica
- ha capacità inferenziali
- ha una limitata ma nota capacità di agire sul mondo
- ha un goal da perseguire
- sa pianificare le sue azioni e verificarne l'effetto
- è flessibile e adattabile...
- apprende, qualunque cosa questo voglia dire...

Un agente-PL è “autonomo”



- complessità nel flusso di controllo
 - astrarre dal controllo
- un agente incapsula il controllo
 - *locus* indipendente di controllo
 - non è invocato, segue il suo flusso di controllo
- un agente è autonomo
 - persegue il suo scopo

Un agente-PL non è...



- un programma
 - rappresenta un singolo flusso di controllo in una molteplicità
 - correlazioni dinamiche tra flussi diversi
- un oggetto
 - in generale, non può essere invocato, al più può decidere di rispondere
 - agents can say “no” (Jim Odell)

Un agente-P&D è “mobile”

- un agente non è legato alla VM dove nasce
 - non è che gli agenti sono mobili, sono gli oggetti che sono immobili
- nuova dimensione, nuova astrazione
 - modelli, tecnologie, metodologie
- reliability, impiego di banda, fault-tolerance,
...

Un agente-SE è un'astrazione

- In realtà, l'agente SE non esiste...
- Agent-Oriented Software Engineering
 - astrazione HW/SW
 - incapsula la complessità in termini di
 - controllo
 - intelligenza?
 - mobilità?

$$DAI + PL + P\&D + SE + R = MAS$$

- All'intersezione di DAI, PL, P&D, SE, R
 - nasce la comunità Multi-Agent Systems (MAS)
- Astrazione
 - entità autonoma “situata” che persegue proattivamente il suo goal interagendo con l'esterno
 - autonomia & proattività
 - interattività (reattività, situatedness)

Un agente–MAS è autonomo



- Task-oriented
 - incapsula il controllo
 - un agente è un confine attraverso il quale non passano informazioni di controllo
 - controllo finalizzato allo svolgimento del task
- Svolge il suo task
 - pro-attivamente, non in risposta a uno stimolo
- Task globale vs. task individuale
 - come contemperare con autonomia?

Un agente–MAS è interattivo

- Percezione limitata, capacità limitata
 - dipende da agenti / risorse esterne
 - società di agenti + ambienti
 - problema della comunicazione
- Task globale / sociale
 - risultante dell'attività (task) di molti individui
 - abbattimento della complessità: subtask
 - problema della coordinazione

Un agente–MAS è ...



- Intelligente?
 - può essere utile – quasi necessario...
- Mobile?
 - può essere utile
- Intelligente & mobile???
 - *orrore!!*, dissero DAI e P&D per opposte ragioni
 - ma... può essere utile

Come scrivo un agente?

- con un linguaggio ad agenti?
 - Agent0
- con un linguaggio classico?
 - C
 - Java
 - Prolog
- l'importante è l'*architettura*

Architetture classiche



- logic-based architectures
- reactive architectures
- belief-desire-intention architectures

Architetture logic-based

- Rappresentazione del mondo D
 - logica del prim'ordine (o equiv.)
 - e.g., temperatura(sensore234,34)
- Rappresentazione del goal G
 - $D \mid - G$
- Processo deliberativo
 - regole deduttive
 - deliberazione come inferenza logica
 - e.g. azione rappresentata come modifica a D

Architetture reattive



- dalla Robotica
 - architetture behaviour-based (Brooks)
- no rappresentazione simbolica
 - situazione → azione
- situatedness
 - interazione, ambiente
- intelligenza come comportamento emergente
 - architetture a sussunzione, gerarchie

Architetture Belief-Desire-Intention



- Practical reasoning
 - *what* goals (deliberation)
 - *how* to achieve them (means-ends reasoning)
- Mondo ~ beliefs
 - aggiornamento: belief-revision function
- Desideri: opzioni disponibili
- Intenzioni
 - filtro: commitment
 - guidano le azioni

Architetture Stratificate



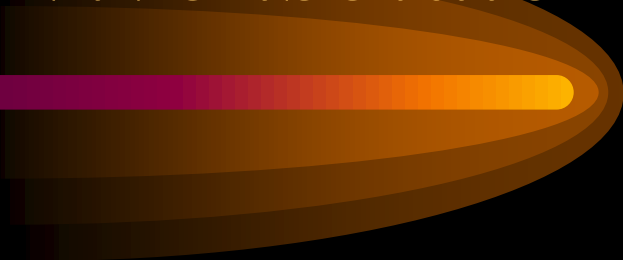
- Stratificazione
 - verticale
 - orizzontale
- Idea di base
 - ogni strato si occupa di un aspetto specifico
 - e.g., strato reattivo, “sociale”, pro-attivo, ecc.
- Le più diffuse, le meno “chiare”

Linguaggi ad Agenti



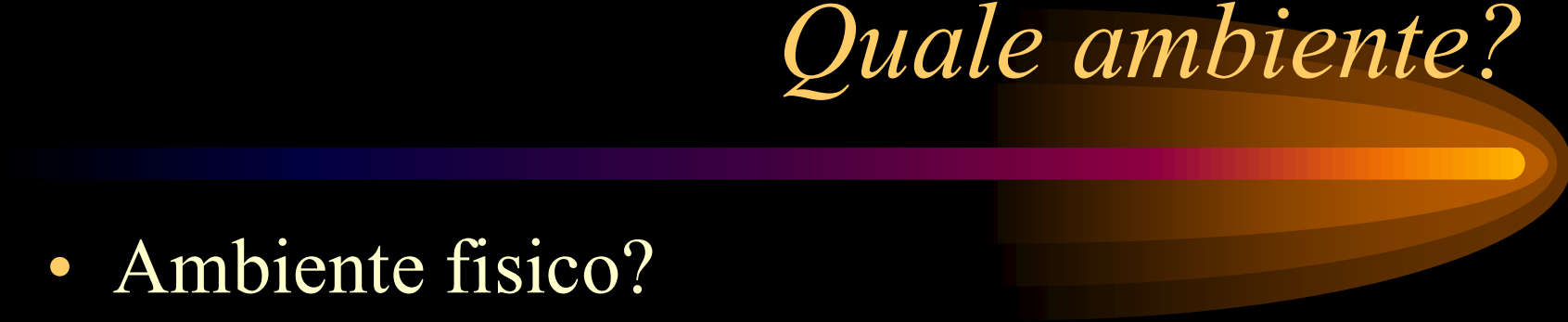
- AOP
 - Agent-Oriented Paradigm (Shoham)
 - incorporare l'astrazione agente nel linguaggi
 - e.g., supportare BDI linguisticamente
- Agent0
 - capabilities, beliefs, commitments
 - commitment rules
 - message + mental conditions fire action

Un agente–MAS non vive isolato



- Vive in società
 - capacità & percezione limitate
 - multi-agent systems (MAS)
- Immerso in un ambiente
 - agente “reattivo”
 - agent environment
 - supporto vitale, info sources, risorse, ...

Quale ambiente?



- Ambiente fisico?
 - robot, agenti SW/HW
 - ambiente modellabile, parzialmente modificabile
 - leggi fisiche
- Ambiente virtuale?
 - agenti SW
 - ambiente ingegnerizzabile
 - leggi virtuali

Un ambiente virtuale...



- è costituito da risorse
 - “supporto vitale” (VM)
 - sorgenti di conoscenza
 - servizi
- ha una topologia
 - mobilità
- ha politiche di visibilità e accesso
 - autenticazione, autorizzazione

Ambiente tipico: Internet

- Internet come tipico *agent environment*
 - aperto
 - eterogeneo
 - a controllo decentralizzato
 - dinamico
 - non affidabile
 - non predicibile
- Come fa un agente a vivere qui???

Agenti intelligenti?



- In prima battuta, è secondario!
 - può addirittura essere un problema
- In seconda battuta, è fondamentale
 - ma una volta che si siano risolti problemi concettuali e tecnologici a monte

Problemi fondamentali



- Supporto vitale
 - VM, mobilità
 - *safety* di agente e ambiente
- *Identità e capacità* di un agente
 - modelli di sicurezza
- Eterogeneità della rappresentazione
 - sintassi, semantica, ontologia

Soluzione: le infrastrutture



- Infrastrutture
 - modelli, standard e tecnologie
- Infrastrutture per agenti?
 - Jini – non è per agenti, e non “scala”
 - quale modello? quali esigenze specifiche?
 - sicurezza (MAS)
 - knowledge mediation (MAS)
 - topologia & supporto all’esplorazione

Esempio: supporto esplorazione

- Esploratore in ambiente ignoto a priori
- Rappresentazione esplicita e osservabile di topologia e risorse
 - l'esplorazione intelligente è fattibile
 - altrimenti
 - esplosione combinatoria dello spazio deliberativo
 - meglio un agente “stupido”...

Agenti mobili?



- Necessario in ambienti distribuiti dove
 - le connessioni sono costose o non affidabili
 - le sorgenti di conoscenza sono vaste
- Utile come metafora
 - naturale pensare di muovere gli agenti
 - movimento fisico o virtuale

Agenti sicuri?

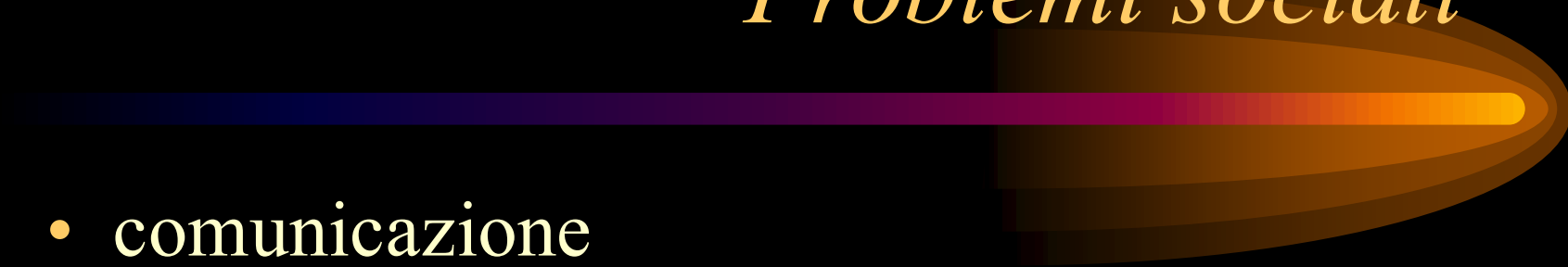


- Chi garantisce l'agente...
 - contro VM maliziose o non funzionanti?
- Chi garantisce l'ambiente
 - contro agenti maliziosi o mal funzionanti?
- Chi è responsabile per un agente?
- Un agente (intelligente) può essere responsabile?

Agente come entità sociale

- Due punti di vista
 - *soggettivo* – da dentro l'agente
 - *oggettivo* – fuori dagli agenti
- DAI
 - concentrata su soggettivo
 - sociale come somma/composizione di individui
- PL/SE
 - concentrata su oggettivo
 - sociale come infrastrutture abilitanti/regolanti l'interazione tra individui

“Problemi sociali”



- comunicazione
- coordinazione
- cooperazione

Comunicazione



- Sintassi
 - i simboli
- Semantica
 - l'interpretazione
- Ontologia
 - il sistema di riferimento

Agent Communication Languages



- ACL
 - comunicazione in “soggettivo”
 - problema: eterogeneità
 - l’agente deve capire e farsi capire
- Tre strati
 - sintattico (famiglie di linguaggi)
 - semantico/ontologico (“ontologies”)
 - attitudinali (speech acts)

KQML & FIPA



- KQML (Finin),
 - Knowledge Query Manipulation Languages
 - parte di Knowledge Sharing Effort
- FIPA (www.fipa.org)
 - Foundation for Intelligent Physical Agents
 - sforzo di standardizzazione
 - semantica chiara
 - standard “aperto”

Aspetti oggettivi della comunicazione inter-agente



- Ontologies
 - possono essere incapsulate in infrastrutture
 - si possono costruire servizi pubblici
- Mediatori (Wiederhold)
 - architetture di knowledge mediation
 - mediazione fuori dagli agenti
- Fuori o dentro gli agenti?
 - criteri di fattorizzazione, gestione e riuso

Coordinazione

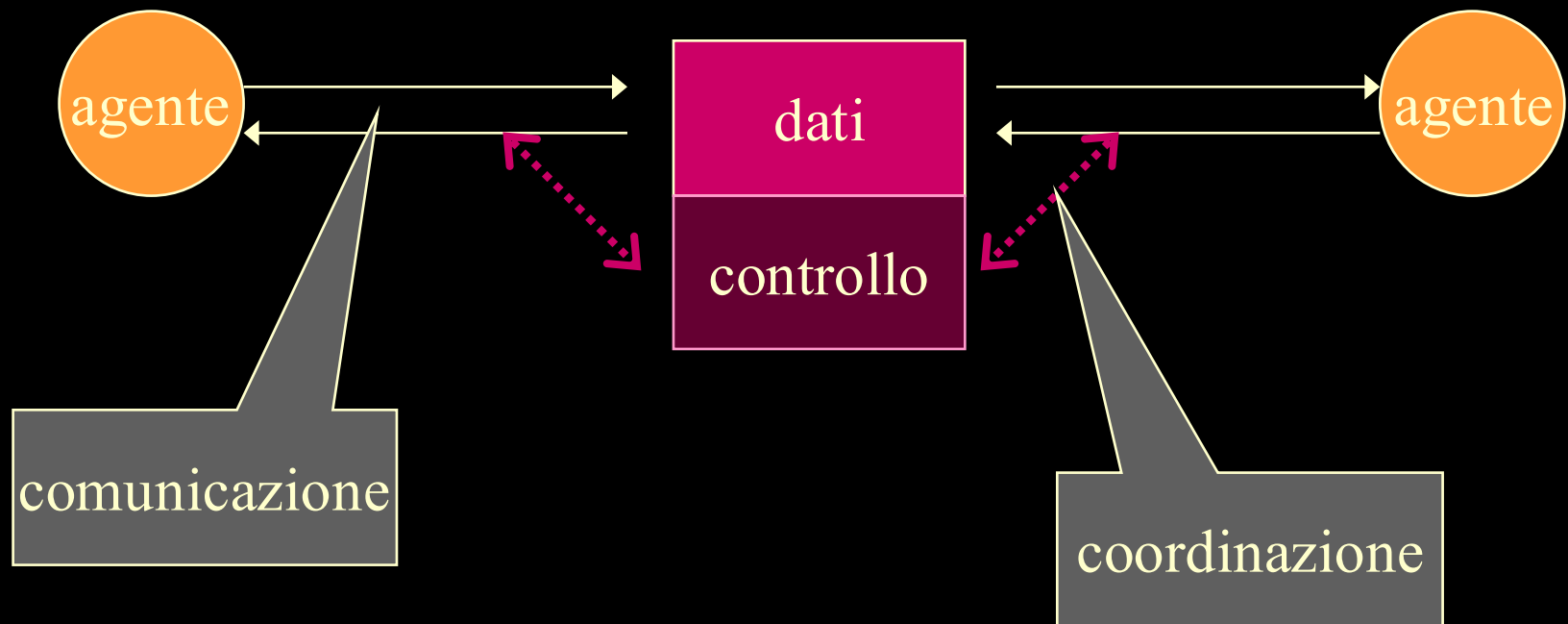


- Concetto multi-disciplinare
 - molti settori dell'Informatica
 - PL, AI, HCI, SE, R, P&D, OR, MAS
 - molte discipline fuori dall'Informatica
 - scienze sociali, biologia, economia, ...
- Coordinazione ~ governo dell'interazione
 - sistemi multi-componente
 - sistemi interattivi
- Modelli e linguaggi di coordinazione
 - CM

Coordinazione – in soggettiva

- Aspetti soggettivi
 - ogni agente si coordina con gli altri
 - può delegare o ricevere task
 - può scambiare informazione
 - può decidere di collaborare o competere
- Algoritmi, modelli, piani, ...
 - entra in gioco tutta la capacità percettiva e deliberativa di ogni singolo agente
 - performative / speech acts in ACL
- Non andiamo oltre (Ossowski, 1999)

Coordinazione – in oggettiva



Modelli e linguaggi di coordinazione

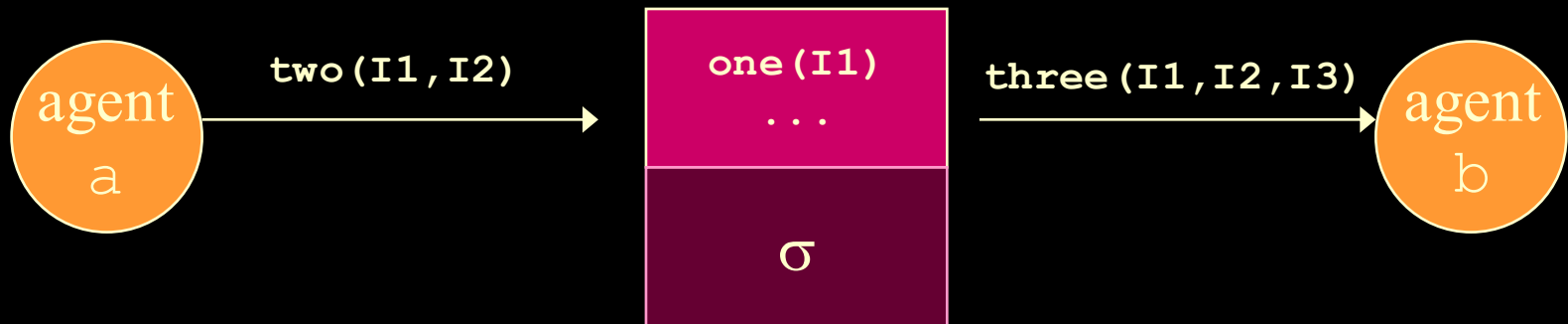
- Controllo fuori dagli agenti
 - leggi di coordinazione
 - leggi sociali
 - leggi del mondo virtuale
- Astrazioni di coordinazione
 - società come entità di prima classe
- Separazione tra aspetti sociali e individuali
 - comportamenti / task sociali
- MAS come insieme di agenti e società

Astrazione di coordinazione per ...



- Conversational protocols
- Knowledge management
- Access control
- Integrity control
- Consistent observation
- Negotiation protocols
- ...

Esempio: ReSpecT



```
reaction(out(two(I1,I2)), (  
    current_agent(a), in_r(two(I1,I2)),  
    out_r(one(I1)), out_r(one(I2))  
))  
...
```

Esempi di astrazioni di coordinazione



- Servizi di CORBA
- Conversational protocols in FIPA
- Mediatori (Wiederhold)
- Spazi di tuple in Linda
- Coordinatori in MANIFOLD
- Centri di tuple in TuCSoN
- JavaSpaces in Jini

Sistemi intelligenti ad agenti?



- È possibile...
 - incapsulare comportamenti intelligenti fuori dagli agenti?
- Astrazioni di coordinazione
 - come luoghi di intelligenza
- Il concetto di *emergenza*
 - è possibile avere sistemi intelligenti a componenti stupidi?
 - e.g., il formicaio

Agent-Oriented Software Engineering



- Costruire sistemi complessi ad agenti
 - ingegneria dei sistemi SW/HW *con* gli agenti
- Metodologia
 - processi, fasi, documenti
- Astrazioni di base
 - agenti
 - società
 - ambienti

Metodologie



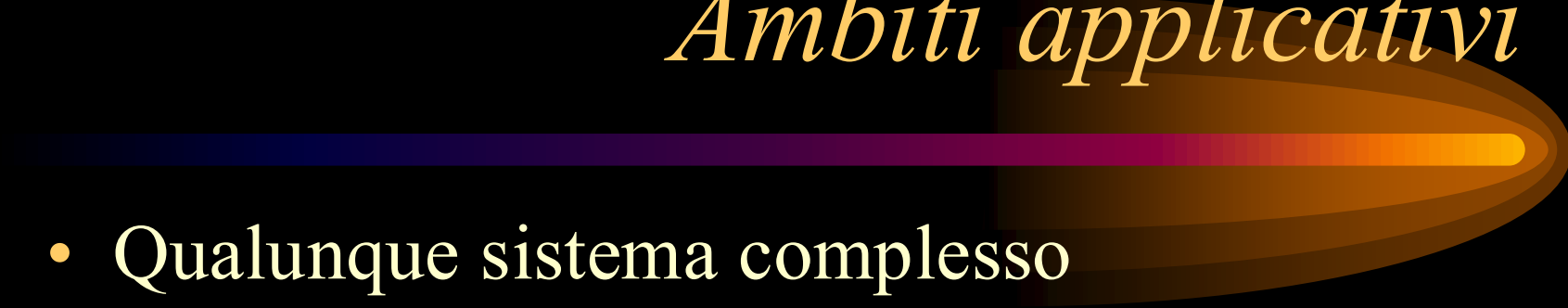
- Task-oriented
 - decomposizione in task
 - *task sociali e individuali*
 - ambiente in termini di *servizi*
- Ruoli, organizzazioni, società
- Gaia (Kinny & altri), SODA, Gaia + coordinazione (Zambonelli & altri)
- *Work in progress*

Ingegneria dei sistemi ad agenti intelligenti



- Astrazione dal controllo
- Ingegnerizzazione separata
 - agenti, società, ambiente
 - modularità, incrementalità, riuso, apertura, ...
- Modelli e tecnologie eterogenee
- Necessità di standard & infrastrutture
 - specifiche per gli agenti
- Ingegneria dei comportamenti emergenti?

Ambiti applicativi



- Qualunque sistema complesso
 - Qualunque sistema che richieda intelligenza
 - Qualunque sistema che richieda autonomia
 - Qualunque sistema che richieda apertura
-
- Esempi: disappearing computer, home care

Conclusioni

- Gli agenti sono il domani della tecnologia
- Sono il veicolo per tutti i risultati presenti e futuri dell'AI
- I sistemi multiagente presentano nuove astrazioni e nuovi modelli di intelligenza
- Profezia: non sappiamo se li chiameremo ancora agenti, ma li avremo nella lavatrice prima di saperne il nome – indipendentemente da cosa pensiamo di loro

Bibliografia

- *Understanding Intelligence* (Pfeifer & Scheier, MIT Press)
- *Multiagent Systems: A Modern Approach to DAI* (G. Weiss, MIT Press)
- *Intelligent Information Agents* (M. Klusch, Springer-Verlag)
- *Coordination of Internet Agents: Models, Technologies, and Applications* (A. Omicini e altri, Springer-Verlag)