IL MULTIPROCESSING

Il problema: necessità di aumento della potenza di calcolo.

La velocità di propagazione del segnale (20 cm/ns) impone limiti strutturali all'incremento della velocità dei processori (es: 10GHz → max 2 cm)

Tendenza attuale: distribuire il calcolo tra più processori.

processori strettamente accoppiati:

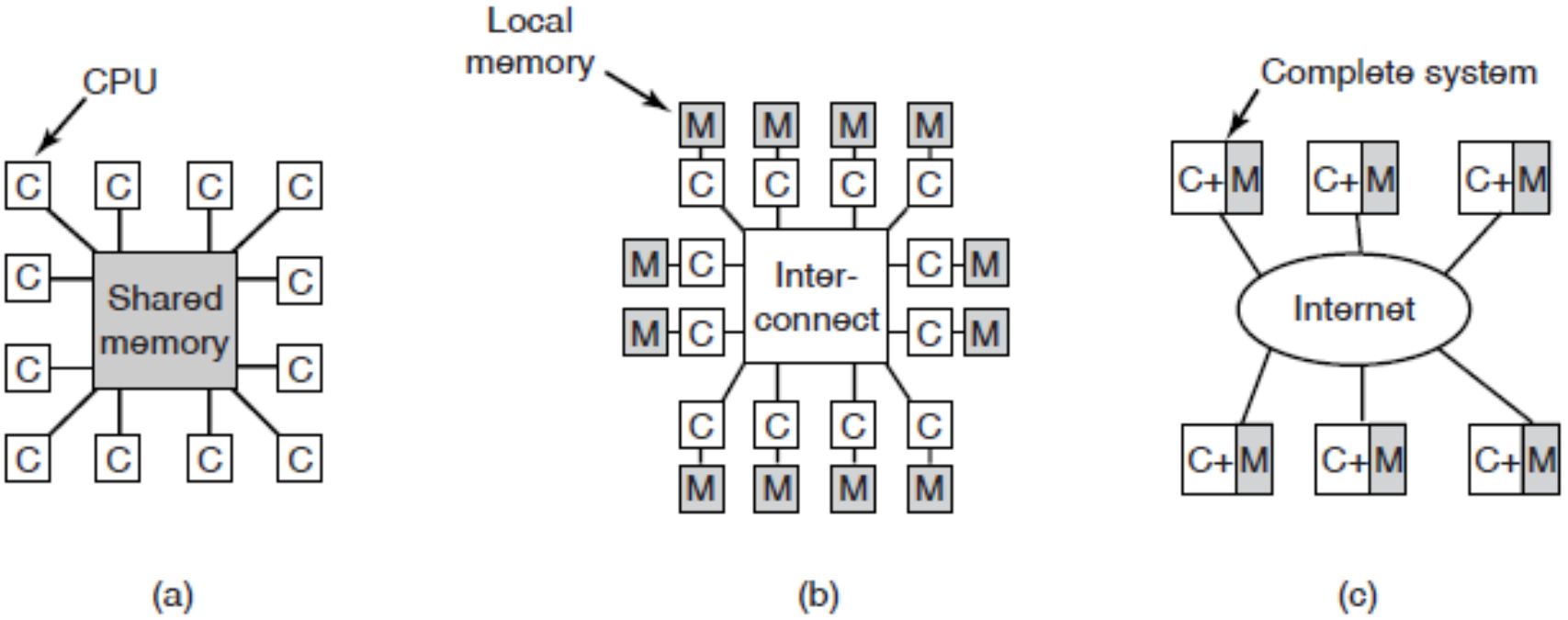
sistemi multiprocessore: tutte le CPU condividono clock e una memoria fisica comune; comunicazione attraverso memoria condivisa: Uniform Memory Access UMA (SMP, crossbar, . . .), Non Uniform Memory Access NUMA (Cache Coherent-NUMA, No Cache-NUMA), Cache Only Memory Access COMA;

processori debolmente accoppiati:

sistemi multicalcolatore: le CPU non condividono clock e/o memoria; ogni CPU ha la sua memoria privata e comunicano attraverso canali asincroni molto più lenti

sistemi distribuiti: reti.

MULTIPROCESSORE, MULTICOMPUTER, SISTEMA DISTRIBUITO



Differenze:

- ***costo***
- ***scalabilità***
- ***complessità di programmazione/utilizzo***

MULTIPROCESSORS CLASSIFICATION

- A multiprocessors is made by two or more processors connected through a communication system.
  - Processors may be identical in terms of their functionality (**homogeneous multiprocessor**): in such a case any available processor can be used to run any process. Processors may be different (**heterogeneous multiprocessor**): only programs compiled for a given processor's instruction set could be run on that processor.
  - The way a processor access the memory may be the same for all processors (uniform memory access or UMA) or may be different for each processor (non uniform memory access or NUMA).
  - Even within a homogeneous multiprocessor, a process needing for a device attached to the private bus of a processor must run on that processor.
- If several identical processors are available, then load sharing can occur.
- From the general point of view, a processing structure can be classified according to different characteristics.
- The most accepted classification (Flynn taxonomy) considers the **control-flow** and the **data-flow** concepts: in fact, an elementary processing is based on a sequence of instructions (control flow), each of one operating on a couple of data (data flow).

MULTIPROCESSORS CLASSIFICATION ACCORDING WITH FLYNN

A processing structure may be:

- Single Instruction flow and Single Data flow (SISD): that is the classical single CPU architecture of a Von Neumann machine;
- Single Instruction flow and Multiple Data flow (SIMD): that is the architecture of an array processor;
- Multiple Instruction flow and Single Data flow (MISD): that is the architecture of a pipeline processor;
- Multiple Instruction flow and Multiple Data flow (MIMD): the more complex architecture, which may, in turn, range from:
  - an architecture with a single common storage accessed by all the processors → a tightly coupled architecture usually named **true multiprocessor system**;

  to

  - an architecture with a private storage for each processor → a loosely coupled architecture usually named **multicomputer** or **true distributed system**.

Grande varietà di architetture proposte e realizzate

Non sempre si riesce a sfruttarne le potenzialità adeguatamente

La vera difficoltà non è realizzare architetture parallele, ma sviluppare applicazioni parallele.

TRUE MULTIPROCESSOR ARCHITECTURE
Symmetric MultiProcessing (SMP-UMA)

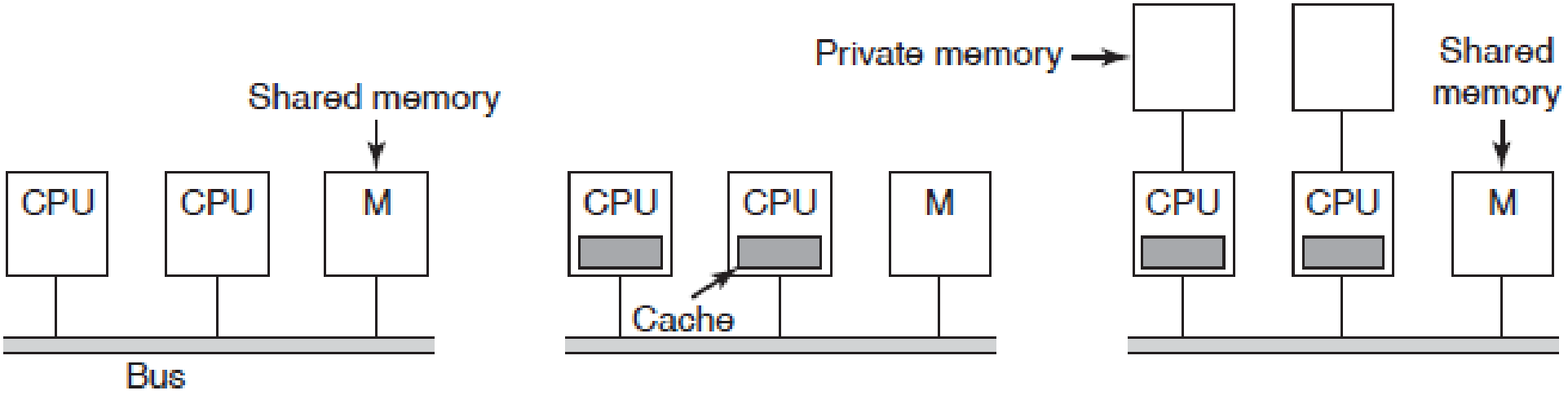
Un multiprocessore vero è caratterizzato da due o più processori che condividono un unico clock ed un'unica memoria comune tramite un sistema di comunicazione che consenta ridottissimi tempi di accesso alla memoria.

Possibili organizzazioni del multiprocessore:

- **a bus comune**
  il sistema di comunicazione è costituito da un bus ed ogni processore esegue uno dei processi che risiede nella memoria comune;

- **a griglia di interconnessione (crossbar grid)**
  il sistema di comunicazione è costituito dalla griglia, a sua volta formata da n^2 commutatori ad alta velocità, che consentono ad ognuno degli n processori di poter accedere ad uno degli n moduli in cui la memoria è suddivisa.

THE COMMON BUS MULTIPROCESSORS ARCHITECTURE



La memoria ed il bus rappresentano dei "colli di bottiglia" dell'architettura, in quanto condivisi da tutti i processori.

Ciò rende inefficiente l'uso di un numero di processori superiore a qualche unità, così come avviene nelle architetture di mercato. Limitata scalabilità (max 16 CPU, solitamente meno di 8). Per andare oltre, si devono usare reti crossbar o omega, o si passa a NUMA.

Per ridurre l'accesso al bus ed alla memoria, ogni processore deve essere dotato di una cache memory in grado di aggiornare immediatamente il contenuto della memoria (*write through cache*) o di aggiornare il contenuto della cache quando quello della memoria cambia (Problemi di coerenza $\Rightarrow$ uso di bus snooping **cache**).

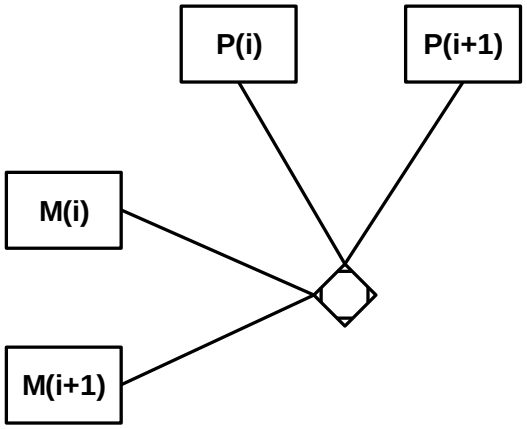
THE CROSSBAR GRID MULTIPROCESSORS ARCHITECTURE

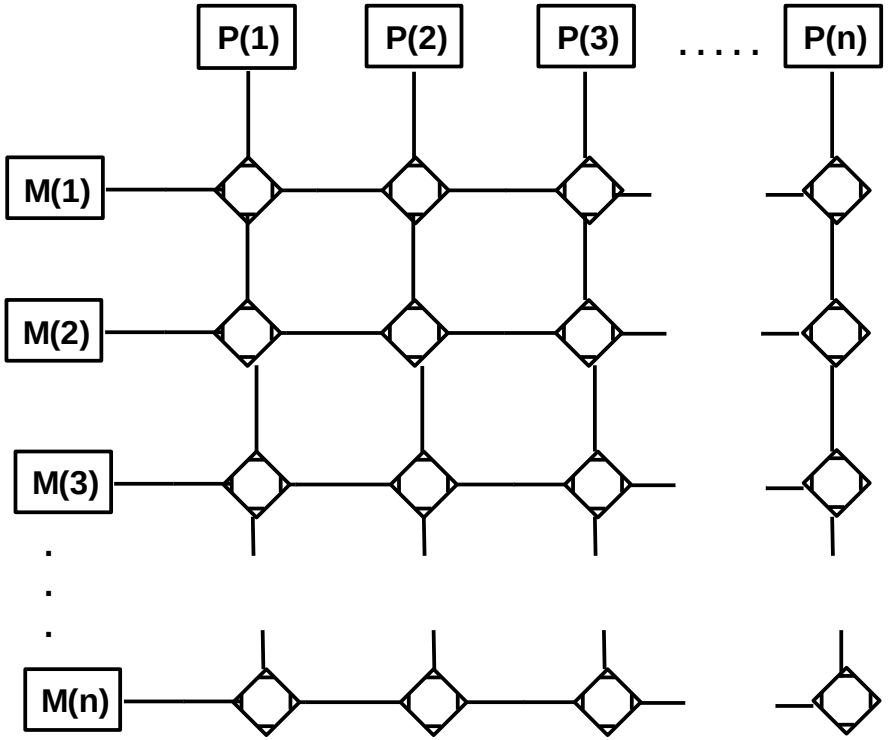
Il numero dei processori e dei moduli di memoria può arrivare al migliaio.

Il tempo di accesso alla memoria è funzione quadratica del numero di commutatori.

Il costo della griglia è alto.

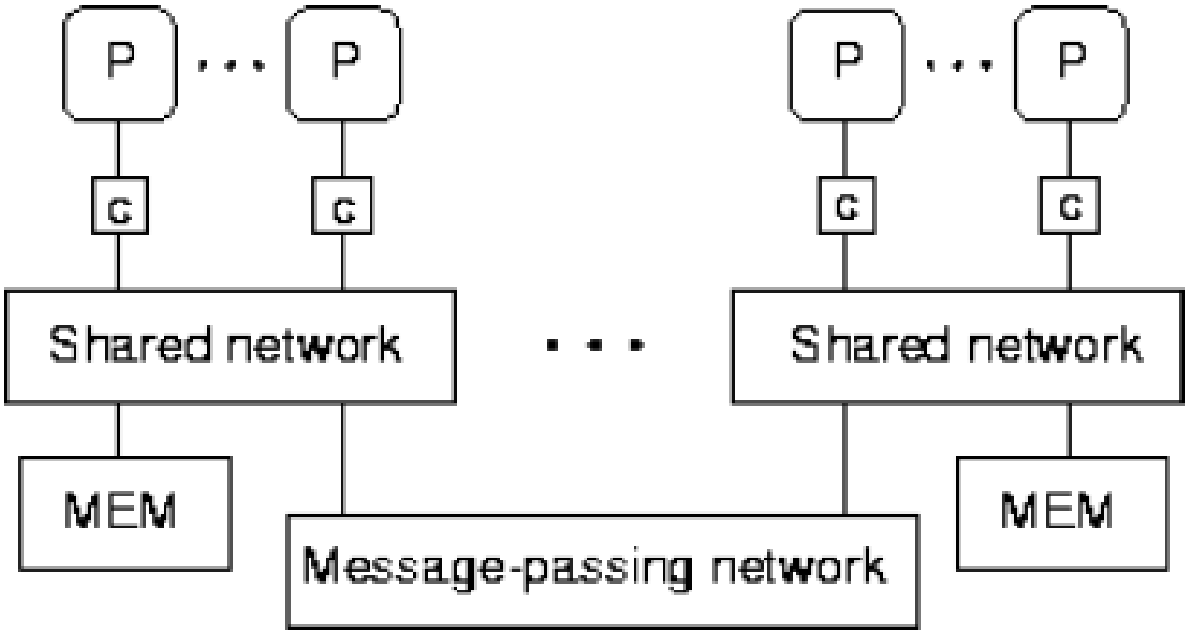
Per ridurli si usano commutatori a 2 ingressi e 2 uscite.





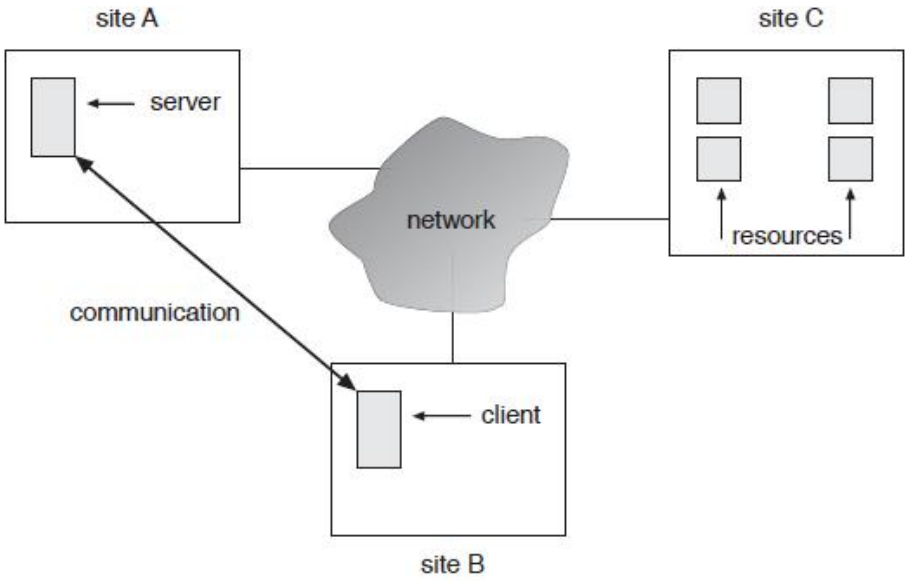
HARDWARE MULTIPROCESSORE: NUMA

- Applicabili a 100+ processori. Due o più tipi di memorie:
  - *locale*: privata ad ogni CPU/gruppo SMP di CPU
  - *remota*: condivisa tra le CPU; tempo di accesso 2 ÷ 15 volte quello locale.
- *Reindirizzamento via rete/bus*, risolto in hardware (MMU)
- Eventualmente, *una cache locale per la memoria remota* (CC-NUMA)



SISTEMI DISTRIBUITI (MULTI-COMPUTER)

Sono sistemi lascamente accoppiati, normalmente più orientati verso la comunicazione (= accesso a risorse remote), che al calcolo intensivo.



Motivazioni per i sistemi distribuiti

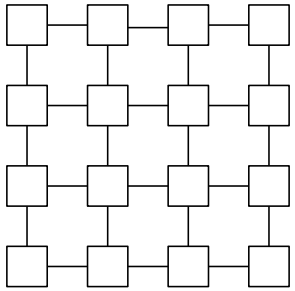
- **Condivisione delle risorse**
  - condividere e stampare file su siti remoti
  - elaborazione di informazioni in un database distribuito
  - utilizzo di dispositivi hardware specializzati remoti
- **Accelerazione dei calcoli: bilanciamento del carico**
- **Affidabilità:** individuare e recuperare i fallimenti di singoli nodi, sostituire nodi difettosi
- **Comunicazione:** passaggio di messaggi tra processi su macchine diverse, similarmente a quanto succede localmente.

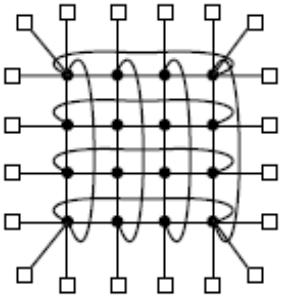
TRUE DISTRIBUTED SYSTEM ARCHITECTURE

Un sistema distribuito vero è caratterizzato da due o più processori, ciascuno con la propria memoria privata ed un proprio bus, che sono connessi tramite un sistema di comunicazione.

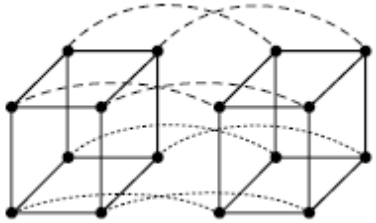
Possibili topologie del sistema distribuito:

- **a rete di interconnessione**
  l'architettura in questione è la più comunemente usata, per connettere più calcolatori sia localmente (tramite una LAN) sia geograficamente (tramite una WAN): cfr. appunti "Introduzione alle reti di calcolatori";
- **a matrice di interconnessione**
  i calcolatori sono planarmente disposti secondo una matrice;





- **ad ipercubo** (molto usati perché diametro = log2 nodi)
  i calcolatori sono disposti spazialmente ai vertici di uno o più cubi; ogni vertice è connesso all'omologo vertice di un altro cubo. Il numero dei cubi stabilisce l'ordine dell'ipercubo.



THE O.S. OF TRUE MULTIPROCESSORS

Le caratteristiche del SO di un multiprocessore vero sono sostanzialmente simili a quelle del SO di un singolo processore. Infatti la presenza della memoria comune consente l'utilizzo degli stessi meccanismi o algoritmi di comunicazione, sincronizzazione e gestione del deadlock già esaminati.

L'unica sostanziale differenza deriva dalla possibilità che più processi possano trovarsi nello stato di "run".

Ciò richiede l'adozione di politiche di scheduling diverse da quelle considerate, sia per i processi applicativi che per quelli del SO stesso:

- associando ad ogni processore una specifica coda di "ready": questa soluzione potrebbe portare alla non desiderabile situazione di un processore "idle" e di un altro sovraccarico di processi;
- prevedendo un'unica coda di "ready" per tutti i processi e facendo eseguire un processo su qualunque processore disponibile al momento. In tal caso è possibile organizzare due distinti meccanismi di scheduling:
  - ogni processore è autoschedulante (**symmetric multiprocessing**): ciò richiede l'adozione di meccanismi di accurata sincronizzazione dei processori nell'accesso a strutture dei dati condivise (la coda di "ready");
  - un processore ha la funzione di scheduler degli altri (**asymmetric multiprocessing**), secondo una tipica struttura master-slave: questa soluzione, molto più semplice da realizzare, è però anche la più inefficiente.

THE O.S. OF TRUE MULTIPROCESSORS

Indipendentemente dalla strategia di scheduling adottata, il *context switching* comporta, in un multiprocessore, un significativo rallentamento a causa del più intenso uso del sistema di connessione e della memoria comune, che sarà inizialmente richiesto dal processore interessato, fino a quando la cache memory non sarà stata aggiornata.

Per evitare tale rallentamento, nel caso di context switching relativo a processi utenti si preferisce in alcuni casi posporlo, attendendo per una frazione di tempo che il processo andato in wait torni rapidamente nello stato di ready, al fine di poterne riprendere l'esecuzione.

THE O.S. OF TRUE DISTRIBUTED SYSTEMS

I SO per sistemi distribuiti possono suddividersi in due categorie principali:

sistemi operativi per reti di calcolatori

- ✓ sono più semplici da realizzare, ma più difficili da usare: gli utenti possono accedere a risorse remote, facendo "login" remoto sul computer appropriato e trasferendo dati da esso;
- ✓ tipiche funzioni di tali sistemi sono:
  - login remoto tramite comando **telnet**: viene quindi stabilita una connessione tra il calcolatore locale e quello remoto e, dopo aver fornito lo user-name e la password di identificazione, è possibile effettuare tutte le operazioni consentite sul calcolatore remoto;
  - file transfer remoto tramite un opportuno protocollo (**ftp**), che consente solo operazioni di copia di file (tramite i comandi get, put ed ls) ad utenti forniti di user-name e password riconosciuti e che conoscano la dislocazione dei file. Ad un utente non dotato di diritti di accesso è invece consentita, qualificandosi come utente *anonymous*, la sola copia dei file di pubblico dominio;

sistemi operativi distribuiti

- ✓ sono più complessi da realizzare, ma molto più semplici da usare in quanto offrono una pluralità di servizi.