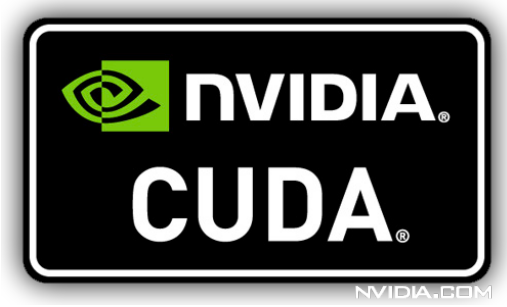
W • SENSE
INTEGRATED CABLELESS SOLUTIONS

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Programmazione di sistemi multicore Seconda Parte

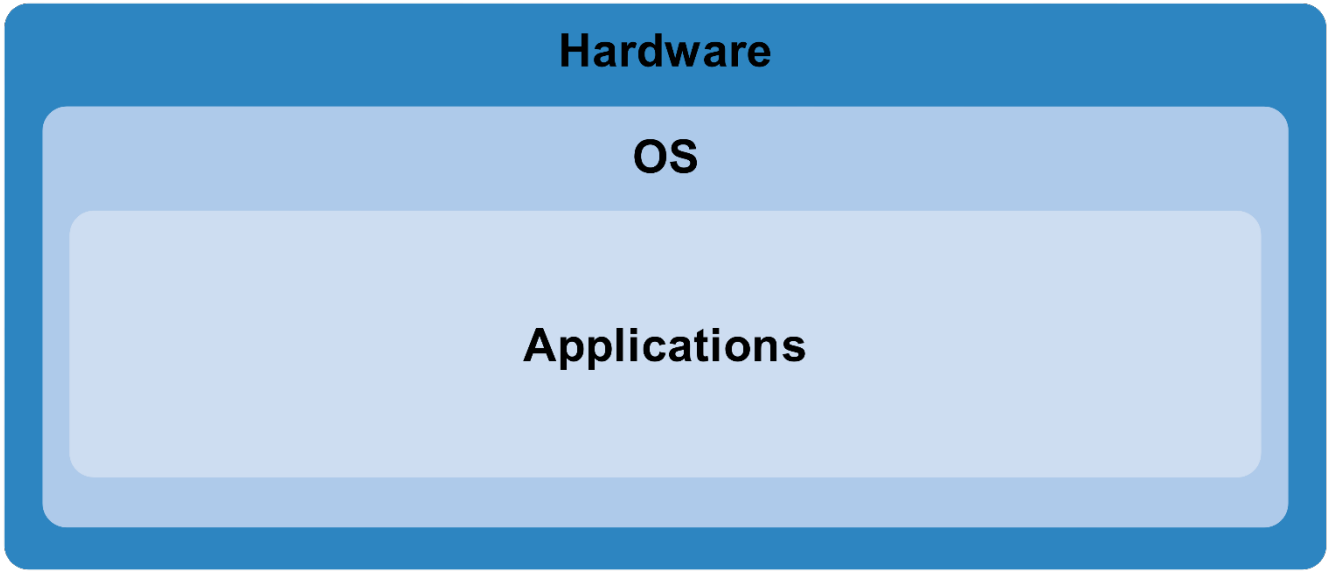
Fabrizio Gattuso

Cosa vedremo nella seconda parte



Che cos'è un OS?

Un Sistema Operativo (OS) è un software che da accesso all'hardware sottostante e fornisce funzionalità utili allo sviluppo di applicazioni di livello superiore.



Multitasking e scheduler

La maggior parte dei sistemi operative permette l'esecuzione di più programmi in contemporanea, simulando così il concetto di parallelismo.

In realtà un solo task è eseguibile da un singolo core. Questo concetto è detto **multitasking**.

Ogni OS è basato su uno **scheduler** che implementa le politiche su come gestire i singoli task.

Multitasking vs Multithreading

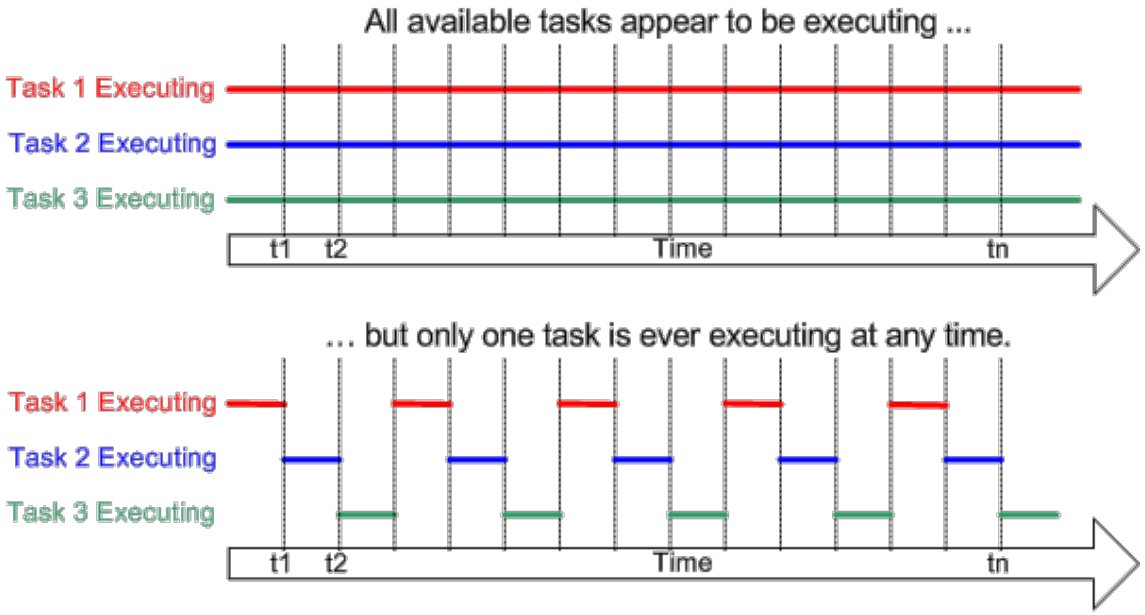
Un thread è una porzione di software che svolge una specifica funzione di un software più complesso (task).

Questo implica che il multithreading è più semplice da gestire perché richiede meno risorse (come ad esempio la memoria).

Il multithreading non è equivalente al multitasking.

RTOS

Un Real Time Operating System (RTOS) è un sistema operativo progettato per fornire un modello di esecuzione predicibile **(deterministico).**



Perché un RTOS

Un OS realtime è essenziale in tutti quegli scenari in cui il fattore tempo è cruciale (hard real time).

- **Hard real time:** è sempre necessario un tempo di esecuzione **massimo** garantito
- **Soft real time:** è necessario un tempo di esecuzione **medio**

Scheduler: problemi e soluzioni

Lo scheduler fa uso della tecnica del ***preemptive fixed priority scheduling.***

Ad ogni task è assegnato una priorità fissa e l'algoritmo cerca di dare più tempo possibile ai task con priorità più alta.

Questo potrebbe portare a problemi? Quali?

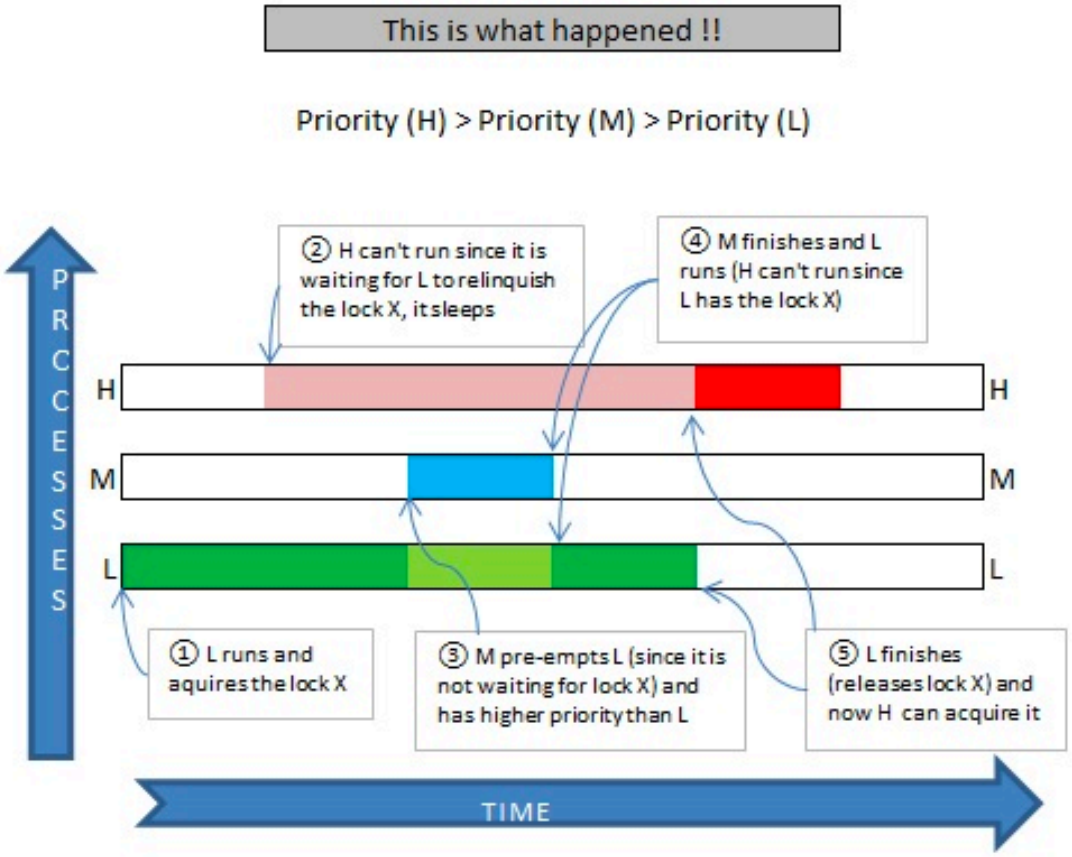
Priority inversion problem

Nel 1997 la **NASA** ha inviato il suo primo spacecraft su Marte (JPL Pathfinder).

Dopo le prime ore di missione, a causa dell'intervento del watchdog, il pathfinder cominciò a riavviarsi da solo.

Il problema fu indentificato nella scorretta gestione di due task concorrenti da parte del RTOS. Il problema è noto come il **priority inversion problem**.

Priority inversion problem (2)



Un task con priorità più bassa ha bloccato un task con priorità più alta a causa delle risorse dipendenti.

Priority inversion problem (3)

Questo problema noto è risolvibile con la tecnica della **priority inheritance**.

Ai task che acquisiscono risorse bloccati tramite mutex e semafori viena **assegnata una priorità alta** in modo da uscire il prima possibile dalla sezione critica. È essenziale che la priorità venga assegnata il **più breve tempo possibile** per non ricadare nello stesso problema.

Che cos'è FreeRTOS?

FreeRTOS è una classe di RTOS sviluppati per essere eseguiti su microcontrollori.

FreeRTOS fornisce:

1. un realtime scheduler
2. primitive di sincronizzazione e temporizzazione
3. comunicazione tra processi.

In realtà è più corretto descrivere FreeRTOS come un kernel con funzionalità di scheduling.

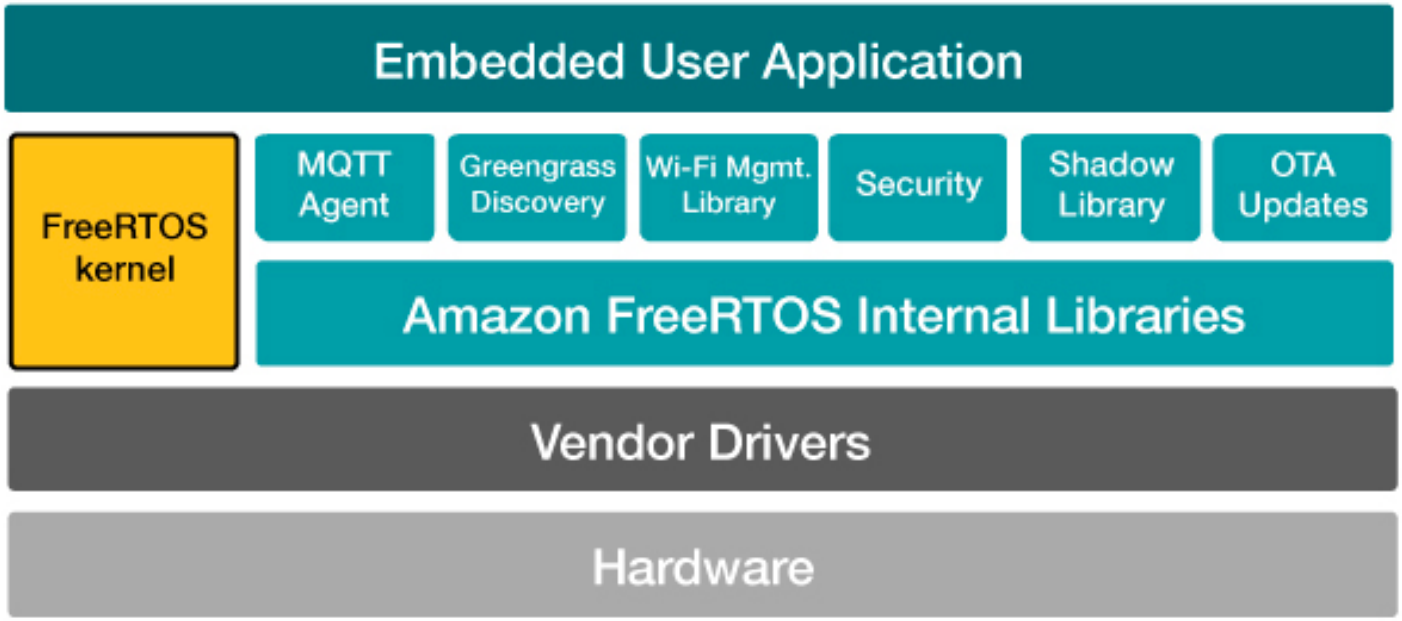
Perché FreeRTOS?

- Free sotto licenza MIT
- Qualità del software controllata
- Robusto e supportato
- Comunità utenti sempre più grande con molti esempi
- Portabile su molte piattaforme hardware

amazon

ORA IL PROGETTO È PORTATO AVANTI DA AMAZON

FreeRTOS vs AMAZON FRTOS



STM32CUBEIDE

Per programmare i nodi avrete bisogno del software STM32CUBEIDE per Windows, Mac e Linux

https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html

Datatypes e coding styles

- È meglio specificare se una variabile è **signed** o **unsigned**.
- **Variabili prefissate con**: ***'c'*** **char**, ***'s'*** **int16t** (short), ***'l'*** **int32t** (**long**) e ***'x'*** **BaseType_t** e **altri tipi non standard** (structures, task handles, queue handles, etc.).
- Se una **variable** è **unsigned**, ha il prefisso ***'u'***. Se è di tipo **pointer**, ha una ***'p'*****.**
- Le **funzioni** hanno come me nome il valore di **return e** il nome del file in cui sono definiti

xQueueReceive() *ritorna una variabile di tipo* ***BaseType_t*** *ed è definita in* ***queue.c***

Datatypes e coding styles (2)

- **BaseType_t**

  È il tipo più efficiente per l'architettura che si sta utilizzando. Per esempio, in una architettura da 32-bit BaseType_t sarà grande 32-bit. Su una da 16-bit BaseType_t è definito a 16 bit.

Tipo	Valore
pdFALSE, pdFAIL	0
pdPASS, pdTRUE	1

Gestione dei task

I task sono funzioni C, che ritornano void e prendere come parametro un puntatore a void:

*void ATaskFunction(void *pvParameters);*

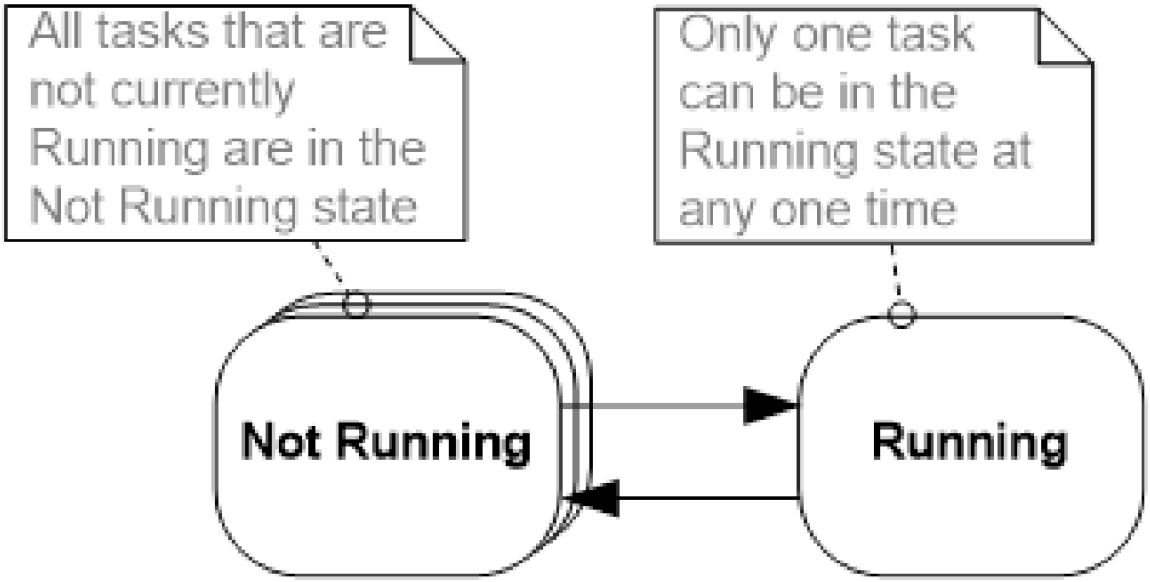
Normalmente sono pensanti come task infiniti e sono implementati grazie a *while(1)* o *for(;;)*

Task

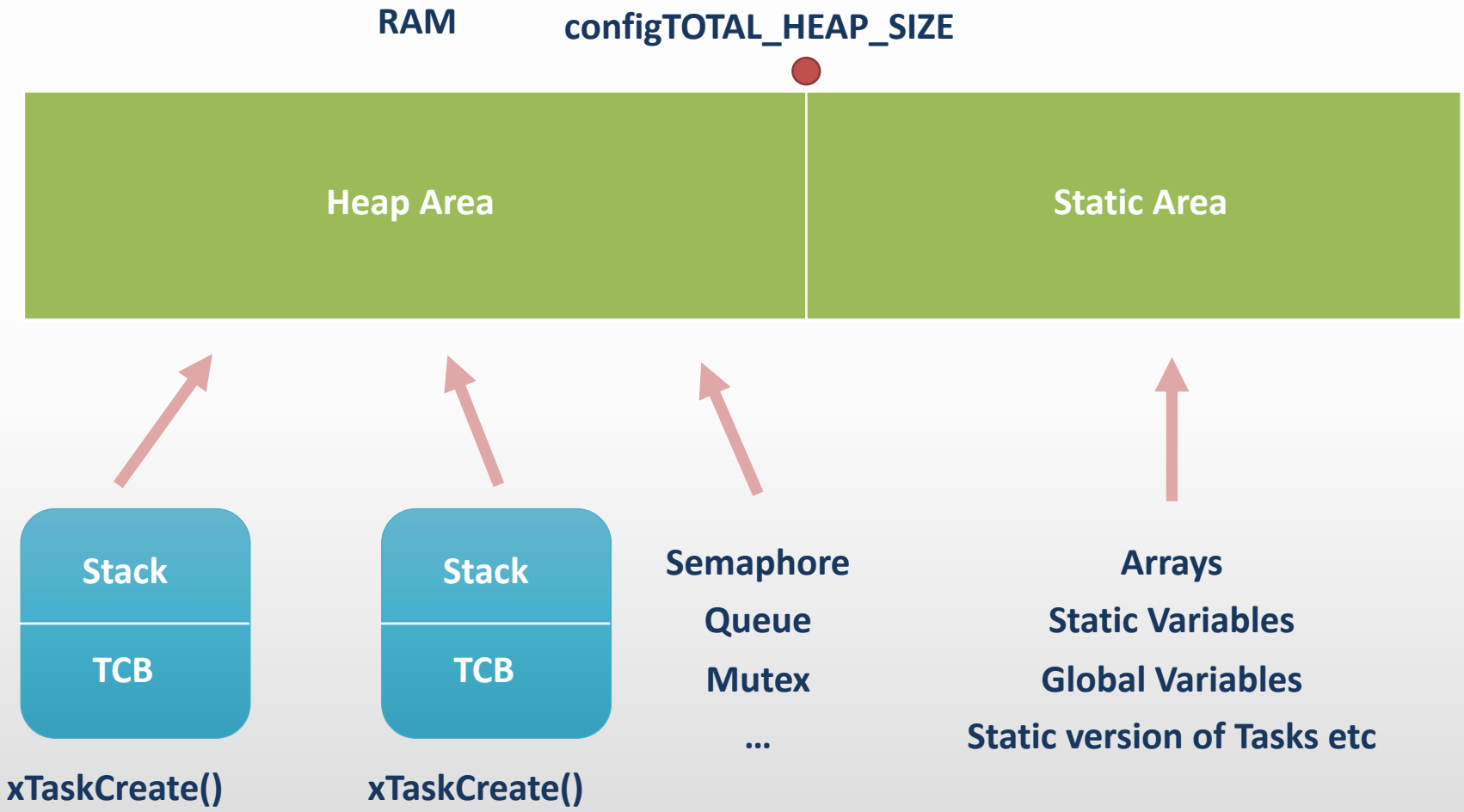
I task sono implementati come funzioni C. Ritornano void e prendendono in input un puntatore a void.

```
void ATaskFunction( void const *pvParameters )  {

  /* Variables can be declared just as per a normal function. Each instance of a
task created will have its own copy of the variable. This would not be true if
the variable was declared static. */
  int32_t lVariableExample = 0;

  /* A task will normally be implemented as an infinite loop. */
  for( ;; ) or while(1) {
    /* The code to implement the task functionality will go here. */
  }
}
```

Stati di un task



Memory management



Allocazione della memoria

Può essere gestita in modo static o dynamic.

La memoria dinamica è il sistema più flessibile ma non verrà utilizzata in questo corso.

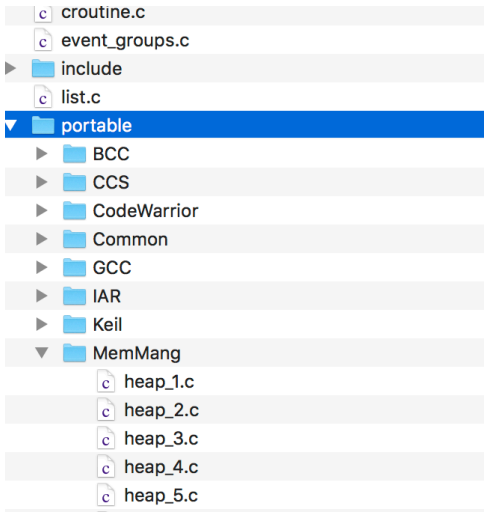
L'allocazione di memoria statica è più robusta ed utilizzata nelle applicazioni in cui livello di affidabilità è molto alto.

Heap System

Come è stato accennato useremo la memoria statica per il corso ma è bene conoscere le altre alternative.

- Heap 1
- Heap 2
- Heap 3
- Heap 4
- Heap 5

FreeRTOS/Source/portable/MemMang

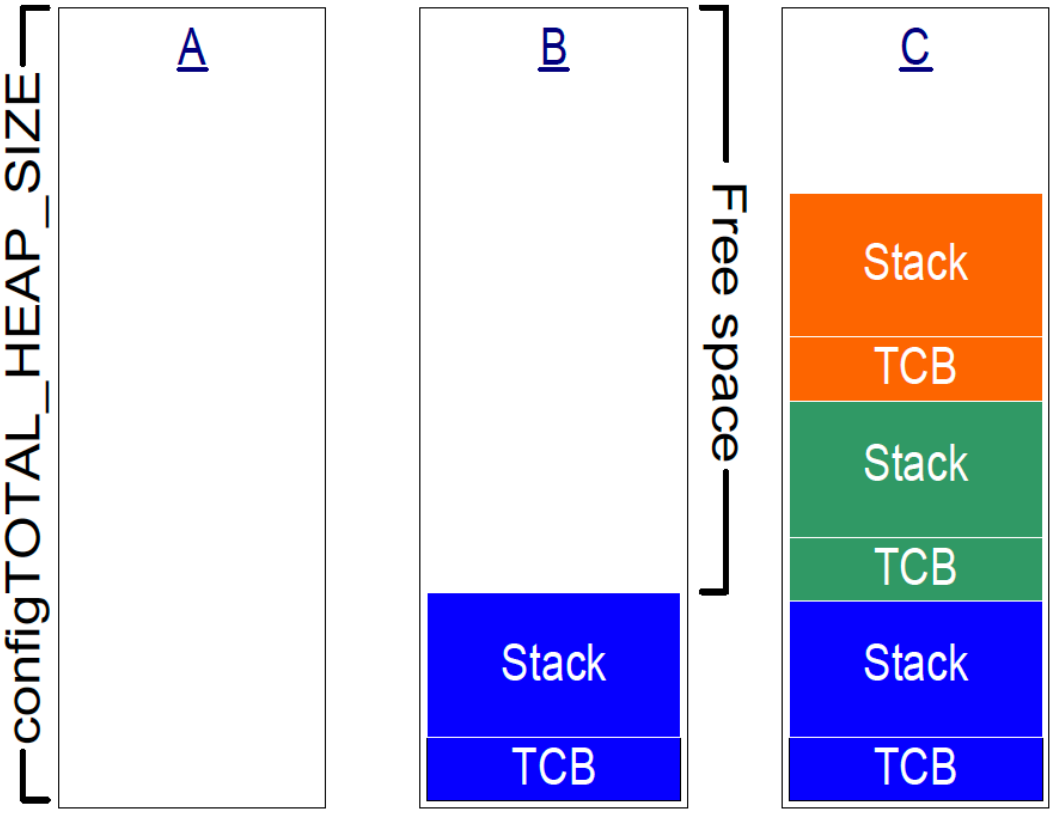


Heap 1

Lo schema più semplice. **Una volta che la memoria è stata allocata non può più essere deallocata.**

La memoria è divisa in diversi blocchi. La memoria totale è configurata tramite **configTOTAL_HEAP_SIZE** – definito in **FreeRTOSConfig.h**.

Heap 1 (2)


configTOTAL_HEAP_SIZE
A
B
C
Free space
Stack
TCB
Stack
TCB
Stack
TCB
Stack
TCB

Heap 1 (3)

Usabile in applicazioni che:

- Non hanno bisogni di cancellare task, queue, semaphore, mutex, etc. (la maggioranza dei casi)
- Determinista e non porta alla frammentazione della memoria
- Applicazioni che non fanno un vero uso dell'allocazione dinamica della memoria

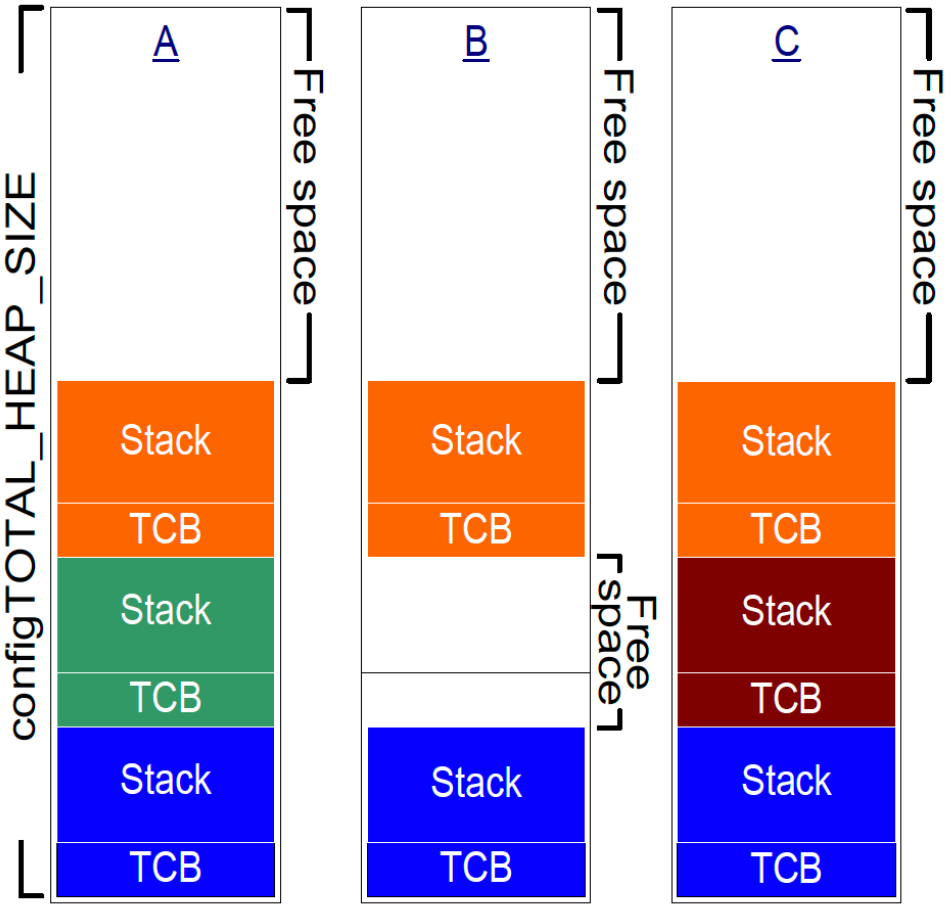
Heap 2

Fa uso del **best fit algorithm** e permette che la memoria sia deallocata ma non combina gli spazi di memoria libera tra loro. Potrebbe portare a frammentazione della memoria.

La memoria totale è configurata tramite **configTOTAL_HEAP_SIZE** – definito in **FreeRTOSConfig.h**.

xPortGetFreeHeapSize() ritorna la memoria libera

Heap 2 (2)



Usabile quando l'applicazione richiede l'eliminazione continua di tasks, queues, semaphores, mutexes, etc. ma attenzione alla frammentazione della memoria.

Heap 3

Un wrapper per le funzioni standard C **malloc()** e **free()** rendendole thread-safe ma non deterministiche.

Porta all'aumento della memoria utilizzata dal kernel (OS).

Non è consigliata per applicazioni real-time.

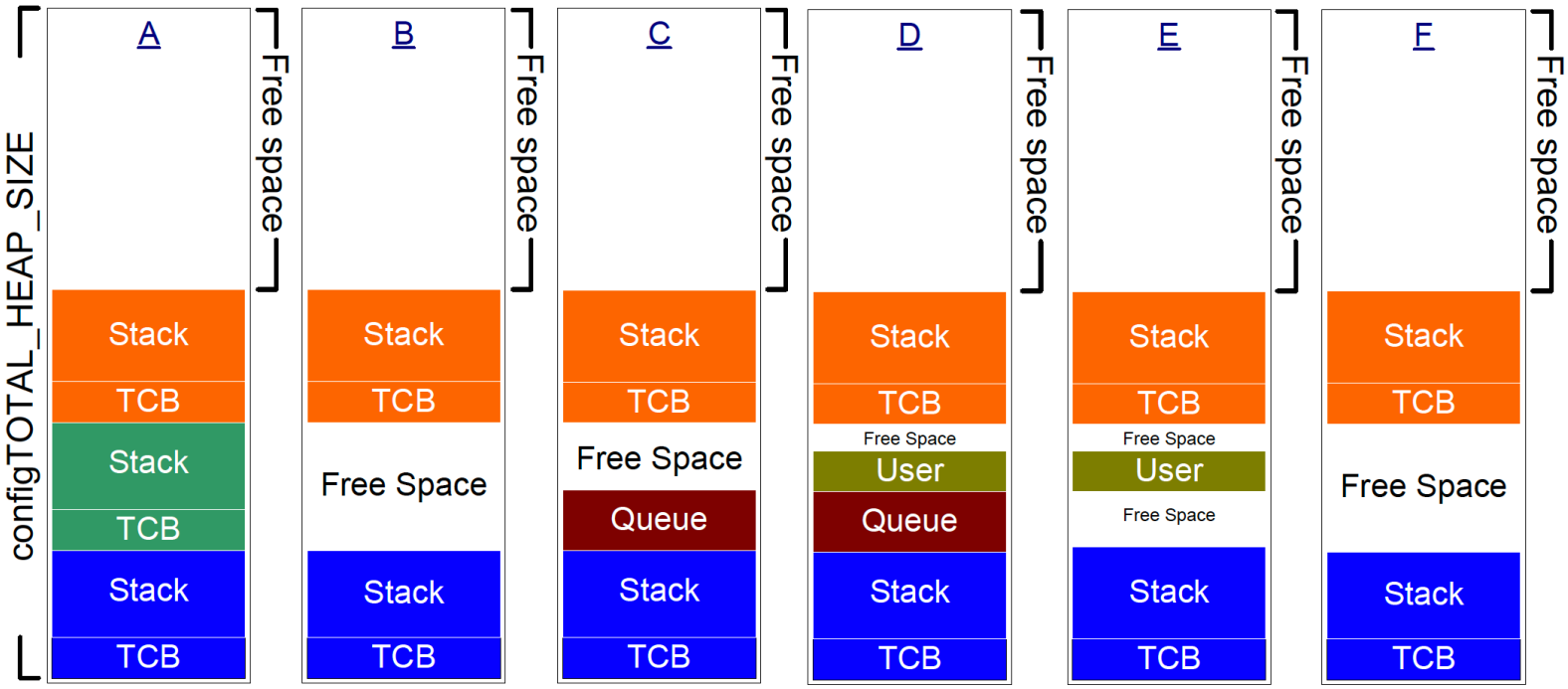
Heap 4

Utilizza il **first fit algorithm** e **combina gli spazi di memoria vuota in un unico spazio di memoria libero**.

Evita la frammentazione.

Continua a non essere determinista ma è più efficiente dell'implementazione standard C.

Heap 4 (2)


configTOTAL_HEAP_SIZE
A
B
C
D
E
F
Free space
Stack
TCB
Free Space
User
Queue

Dynamic Memory Allocation API

È possibile utilizzare le librerie C standard per allocare memoria ma:

non sono deterministiche, raramente thread-safe, non sempre disponibili su sistemi embedded ridotti

malloc() -> **pvPortMalloc()**

free() -> **vPortFree()**

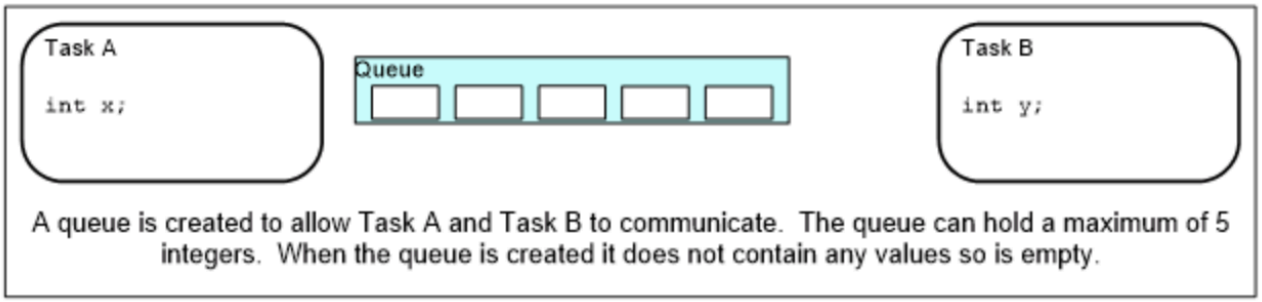
Queue

Le code sono utilizzate come mezzo di comunicazione:

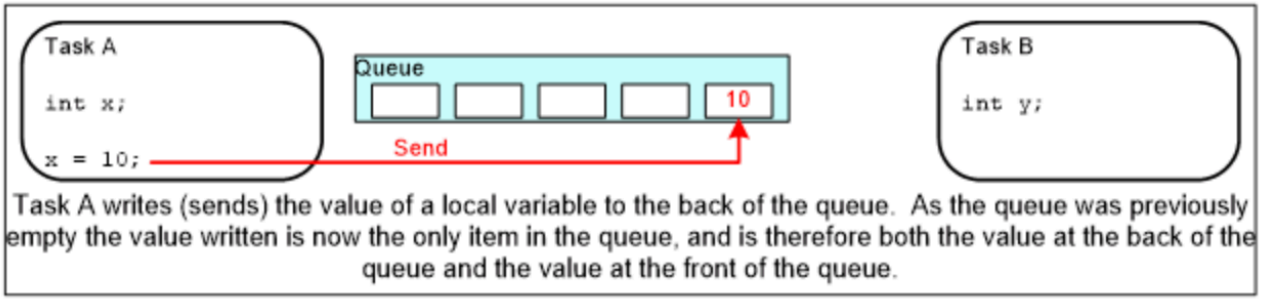
1. Tra task
2. Da task a interrupt (e viceversa)

Una coda può contenere un **numero finito e di dimensione fissa di elementi**. Il numero massimo di elementi è chiamato **length**. La lunghezza della coda e la dimensione del singolo elemento sono fissati in fase di creazione.

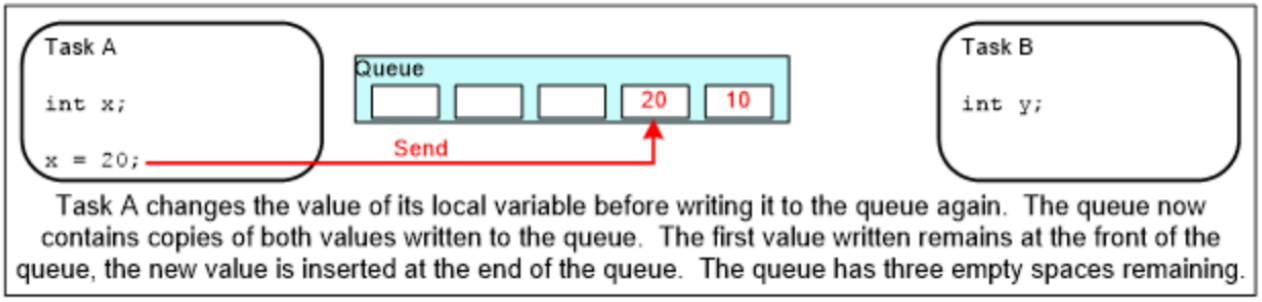
Queue (2)



A queue is created to allow Task A and Task B to communicate. The queue can hold a maximum of 5 integers. When the queue is created it does not contain any values so is empty.

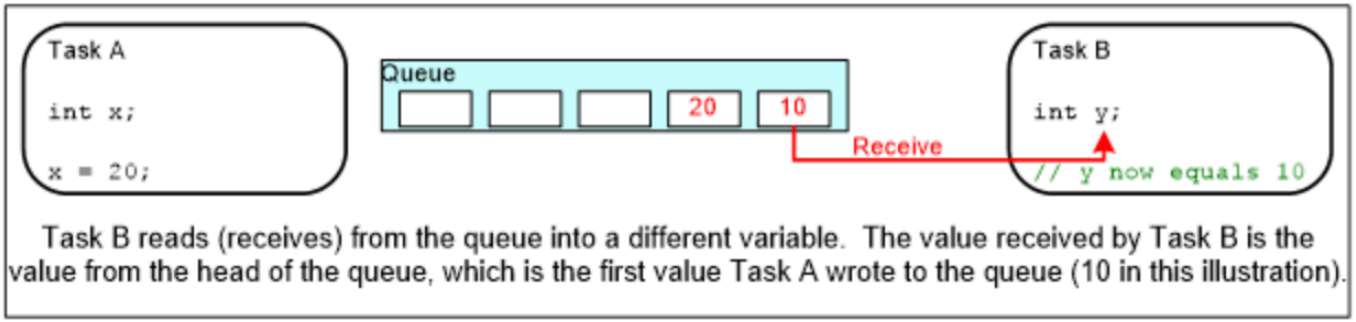


Task A writes (sends) the value of a local variable to the back of the queue. As the queue was previously empty the value written is now the only item in the queue, and is therefore both the value at the back of the queue and the value at the front of the queue.

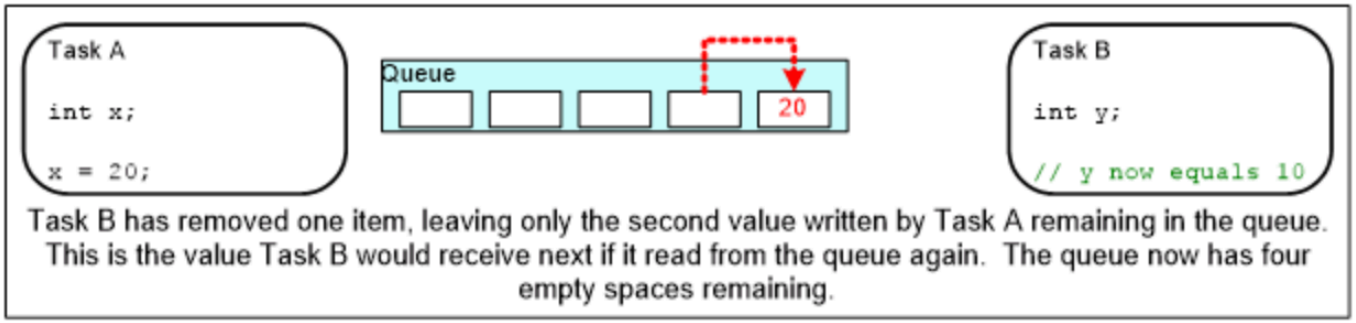


Task A changes the value of its local variable before writing it to the queue again. The queue now contains copies of both values written to the queue. The first value written remains at the front of the queue, the new value is inserted at the end of the queue. The queue has three empty spaces remaining.

Queue (3)



Task B reads (receives) from the queue into a different variable. The value received by Task B is the value from the head of the queue, which is the first value Task A wrote to the queue (10 in this illustration).



Task B has removed one item, leaving only the second value written by Task A remaining in the queue. This is the value Task B would receive next if it read from the queue again. The queue now has four empty spaces remaining.

Le code funzionano copiando un elemento nella propria memoria (no referenze)

Queue (4)

QueueHandle_t **xQueueCreate**(UBaseType_t **uxQueueLength**,
UBaseType_t **uxItemSize**);

BaseType_t **xQueueSendToFront**(QueueHandle_t **xQueue**,
const void * **pvItemToQueue**, TickType_t xTicksToWait);

BaseType_t **xQueueSendToBack**(QueueHandle_t **xQueue**,
const void * **pvItemToQueue**, TickType_t xTicksToWait);

BaseType_t **xQueueReceive**(QueueHandle_t **xQueue**, void * const **pvBuffer**,
TickType_t xTicksToWait);

Queue con puntatori

Quando la dimensione dei dati da salvare è notevole è possibile passare un puntatore alla coda. Questo introduce delle difficoltà:

- La memoria non va mai modifica simutaneamente rendendo la memoria **inconsistente.**
- Se la memoria è allocata dinamicamente allora un task deve essere responsabile della **deallocazione** di essa.
- Non bisogna mai passare puntatori a della memoria allocata all'interno del singolo task. La memoria verrà liberata se il task verrà eliminato.

Software timer

I software timer sono utilizzati per schedulare delle operazioni nel futuro.

Non bisogna confonderli con i timer hardware ma non utilizzano nessuno ciclo di clock per gestire l'attesa.

È necessario includere il file **<timer.c>** nel proprio progetto e configurare la variabile configUSE_TIMERS = 1 nel file FreeRTOSConfig.h

Mai utilizzare codice bloccante all'interno di un Timer!

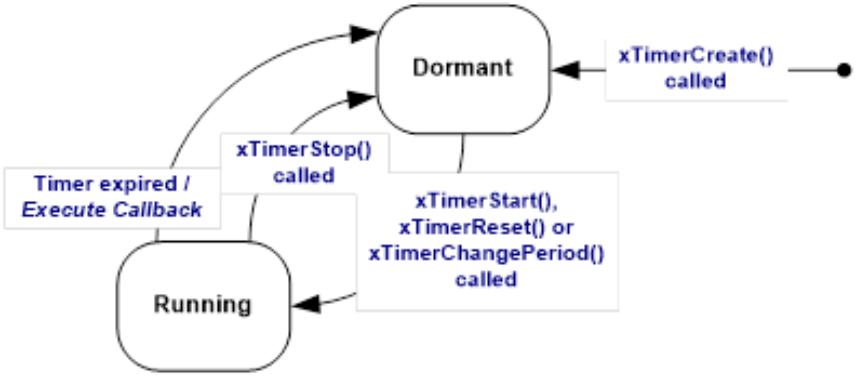
Software timer (2)

- **One shot**

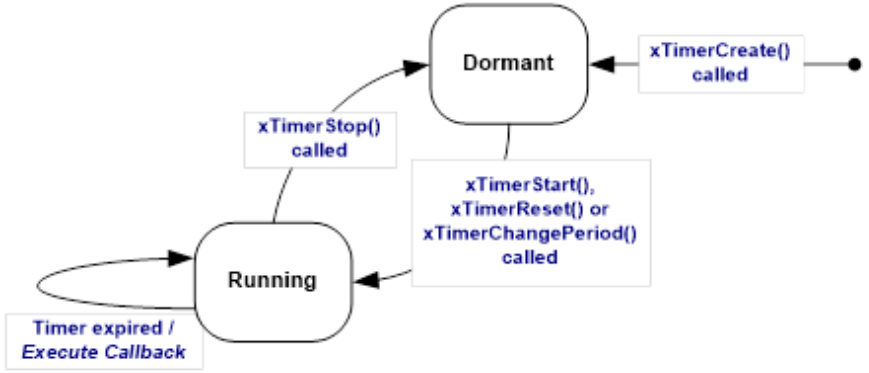
  Questo tipo di timer vengono eseguiti **una sola volta**. Un one-shot timer può essere riavviato manualmente.

- **Auto-reloaded**

  Un timer di questo genere viene rieseguito a cadenza prefissata chiamando la sua callback function.



One Shot



Auto-reloaded

Software timers (3)

TimerHandle_t **xTimerCreate**(const char * const **pcTimerName**,
TickleType_t **xTimerPeriodInTicks**,
UBaseType_t **uxAutoreload**, void * **pvTimerID**,
TimerCallBackFunction_t **pxCallbackFunction**);

TimerHandle_t **xTimerStart**(TimerHandle_t **xTimer**, TickType_t **xTicksToWait**);

TimerHandle_t **xTimerReset**(TimerHandle_t **xTimer**, TickType_t **xTicksToWait**);

TimerHandle_t **xTimerStop**(TimerHandle_t **xTimer**, TickType_t **xTicksToWait**);

TimerHandle_t **xTimerChangePeriod**(TimerHandle_t **xTimer**,
TickType_t **xNewTimerPeriodInTicks**, TickType_t **xTicksToWait**);