

Esercizi con l'assemblatore NASM

Corso di Sistemi Operativi @ Unimi

Mattia Monga

14 ottobre 2019

Contents

1	Programmare senza il sistema operativo	1
1.1	Programma finale	2
2	Somma	2
2.1	Il programma finale	3
3	Somma con syscall	4
3.1	Programma finale	5
4	Somma con scanf e printf	5
4.1	Il programma finale	6
5	Fattoriale	7
5.1	Programma finale	8
6	Fattoriale con risultato a 64 bit	9
6.1	Programma finale	10
7	Reverse	11
7.1	Programma finale	12

1 Programmare senza il sistema operativo

La macchina all'accensione funziona in **modalità reale** (in pratica in una modalità che emula i processori degli anni '80): a 16 bit e senza separazione di privilegi. Tutte le risorse hardware sono accessibili direttamente al programmatore. La memoria è segmentata (ma non paginata).

```
bits 16
```

Il programma viene caricato dal firmware a un indirizzo prefissato (0000:7C00).

```
org 0x7C00
```

Il programma (lungo esattamente 512 byte) viene caricato solo se termina con la parola (2 byte) **0xAA55**.

```
times 510-($-$$) db 0 ; 0-padding
dw 0xAA55
```

Per scrivere sullo schermo è sufficiente assegnare valori appropriati agli indirizzi che mappano la scheda video: si tratta di $80 \times 25 = 2000$ coppie di byte a partire dall'indirizzo B800:0000. Il primo byte codifica (in ASCII) il carattere da mostrare, il secondo le sue caratteristiche visuali.

```
mov ax, 0xb800 ; text video memory
mov ds, ax ; ds non accessibile direttamente
```

Usando il registro `bx` come indice:

```
mov byte [ds:bx], 'm' ; indirizzamento relativo a ds
mov byte [ds:bx+1], 0x0F ; attrib = white on black
```

1.1 Programma finale

```
bits 16
org 0x7C00

mov ax, 0xb800 ; text video memory
mov ds, ax ; ds non accessibile direttamente
start:
  mov bx, 10
write:
  cmp bx, 0
  jz end

  mov byte [ds:bx], 'm' ; indirizzamento relativo a ds
  mov byte [ds:bx+1], 0x0F ; attrib = white on black

  sub bx, 2
  jmp write
end:
  hlt

times 510-($-$$) db 0 ; 0-padding
dw 0xAA55 ; (boot_sig)
```

Il programma va compilato in formato binario (pura sequenza di codice macchina)

```
nasm -f bin mioboot-nobios-simple.nasm -o mioboot-nobios-simple.bin
```

Con QEmu a questo punto si può usare il file ottenuto come se fosse il **boot sector** del primo hard disk.

```
qemu-system-i386 -hda mioboot-nobios-simple.bin
```

2 Somma

Passiamo ora a una macchina dotata di sistema operativo e di due livelli di privilegio. Il sistema operativo esegue le proprie istruzioni in **kernel mode** (ring 00 su i386), le applicazioni in **user mode** (ring 11 su i386). S'immagini ora di voler scrivere un programma utente che fa la somma di 42 e 24. Essenzialmente:

```
mov eax, 42
add eax, 24
```

Per poterlo eseguire occorre utilizzare le astrazioni fornite dal sistema operativo e rispettare un certo numero di convenzioni che il sistema operativo impone.

In un sistema Linux i programmi generalmente adottano il formato ELF (**Executable and Linkable Format**). Ci deve essere un simbolo `main` che è il punto di partenza dell'esecuzione.

```
global main
```

Le istruzioni stanno poi nel segmento `.text`.

```
segment .text
main:
```

Le variabili in memoria (anziché nei registri) si conservano nel segmento `.data`.

```
segment .data
```

Per esempio una variabile intera `x` (**Double word**: 2 parole, 4 byte) inizializzata a 0.

```
x: dd 0 ; dd è una pseudo istruzione NASM il cui mnemonico sta per Data Double (word)
```

Il risultato della somma lo salviamo in `x`.

```
mov eax, 42
add eax, 24
mov [x], eax
```

2.1 Il programma finale

```
global main
segment .text
main:
```

```
mov eax, 42
add eax, 24
mov [x], eax
```

```
segment .data
```

```
x: dd 0 ; dd è una pseudo istruzione NASM il cui mnemonico sta per Data Double (word)
```

Il programma va compilato in formato ELF.

```
nasm -f elf somma.nasm -o somma.o
```

Va anche **collegato** (**link editing**), anche se in questo caso non vengono collegate librerie ma viene solo adattato lo spazio di indirizzamento secondo le convenzioni del sistema operativo.

```
# il link editor sarebbe ld, ma l'utilizzo tramite gcc è più semplice  
gcc -o somma somma.o  
# Eventualmente, su una macchina a 64bit  
# gcc -m32 -o somma somma.o
```

A questo punto però per vedere il risultato della somma bisogna eseguire il programma monitorandone l'esecuzione con il **debugger**

```
gdb somma  
# break main  
# run  
# stepi  
# stepi  
# stepi  
# print/d x
```

3 Somma con syscall

Volendo mostrare sullo schermo il risultato della somma, facendo quindi uso di una risorsa hardware, c'è bisogno di appoggiarsi al sistema operativo, tramite una **syscall**. La syscall **write** viene attivata caricando 4 nel registro EAX e sollevando l'interruzione software convenzionale (0x80). In EBX va indicata la destinazione della scrittura (un **file** speciale chiamato **stdout** e associato al numero 1), in ECX l'indirizzo della stringa da scrivere e in EDX la lunghezza della stringa (non si dipende, come invece in C, da terminatori convenzionali).

```
mov eax, 4 ; syscall 4 (write)  
mov ebx, 1 ; file descriptor (stdout)  
mov ecx, msg ; stringa  
mov edx, msg_size ; dimensione stringa  
int 0x80
```

Stampare il risultato della somma richiederebbe computazione aggiuntiva: il numero (66) va trasformato nella stringa di caratteri ASCII con cui ci aspettiamo di leggerlo ("66" corrispondente ai due byte 0x3636). Per semplicità stampiamo una stringa fissa.

```
; è buona abitudine terminare le stringhe con il carattere ASCII zero  
msg: db 'Ciao!',10,0 ; 10 è il carattere 'a capo'  
msg_size equ $ - msg ; pseudo istruzione (macro); $ è l'indirizzo corrente
```

Essendo dati in sola lettura, le stringhe generalmente vengono conservate nel segmento **.rodata**.

```
segment .rodata
```

Stampando 66 si ottiene sullo schermo il carattere 'B' (66 nella codifica ASCII).

```
mov eax, 42
add eax, 24
mov [x], eax

mov eax, 4 ; syscall 4 (write)
mov ebx, 1 ; file descriptor (stdout)
mov ecx, x ; l'indirizzo di partenza
mov edx, 1 ; 1 byte
int 0x80
```

Al termine del programma è anche opportuno fare una syscall `exit` (identificatore 1) per finirne l'esecuzione ordinatamente.

```
mov eax, 1 ; syscall 1 (exit)
int 0x80
```

3.1 Programma finale

```
global main
segment .text
main:

mov eax, 4 ; syscall 4 (write)
mov ebx, 1 ; file descriptor (stdout)
mov ecx, msg ; stringa
mov edx, msg_size ; dimensione stringa
int 0x80

mov eax, 42
add eax, 24
mov [x], eax

mov eax, 4 ; syscall 4 (write)
mov ebx, 1 ; file descriptor (stdout)
mov ecx, x ; l'indirizzo di partenza
mov edx, 1 ; 1 byte
int 0x80

mov eax, 1 ; syscall 1 (exit)
int 0x80

segment .data
x: dd 0 ; dd è una pseudo istruzione NASM il cui mnemonico sta per Data Double (word)

segment .rodata
; è buona abitudine terminare le stringhe con il carattere ASCII zero
```

```
msg: db 'Ciao!',10,0 ; 10 è il carattere 'a capo'
msg_size equ $ - msg ; pseudo istruzione (macro); $ è l'indirizzo corrente
```

4 Somma con scanf e printf

Le chiamate di sistema sono impacchettate in librerie molto più comode da usare. Sfruttiamo perciò le librerie standard del C: `printf`, `exit` e `scanf`. È sufficiente dichiararne l'esistenza, ci penserà il **linker** a collegare effettivamente le istruzioni delle librerie.

```
extern scanf, printf, exit
```

Chiederemo all'utente del programma due numeri da sommare, conservandoli in due variabili x e y che è inutile inizializzare esplicitamente e che quindi possiamo mettere nel segmento `.bss`. Si tratta di un segmento speciale: lo spazio non viene preallocato, ma allocato solo a tempo di esecuzione (inizializzandolo a zero).

```
segment .bss
x: resd 1 ; reserve 1 double word
y: resd 1 ; reserve 1 double word
```

Servono anche le stringhe di formato per `printf` e `scanf`, come al solito in `.rodata`.

```
segment .rodata
img: db 'Inserisci due numeri interi: ',0
ifmt: db '%d',0
ofmt: db 'Somma: %d',10,0
```

Per passare i parametri a una funzione basta metterli sullo **stack**, in ordine inverso.

```
push img
call printf
```

Nelle `scanf` serve anche l'indirizzo della variabile in cui conservare i byte ricevuti dall'utente.

```
push x
push ifmt
call scanf
```

```
push y
push ifmt
call scanf
```

4.1 Il programma finale

```
extern scanf, printf, exit
global main
segment .text
main:

push imsg
call printf

push x
push ifmt
call scanf

push y
push ifmt
call scanf

mov eax, [x]
add eax, [y]
push eax

push ofmt
call printf

push 0
call exit

segment .rodata
imsg: db 'Inserisci due numeri interi: ',0
ifmt: db '%d',0
ofmt: db 'Somma: %d',10,0
segment .bss
x: resd 1 ; reserve 1 double word
y: resd 1 ; reserve 1 double word
```

5 Fattoriale

Per cogliere l'utilità del **base pointer** (EBP) per gestire i dati sullo stack è utile provare a implementare una funzione ricorsiva, per esempio il classico fattoriale.

Supponendo di aver già implementato una funzione **fact** che opera su un parametro intero, è facile farne uso. Si rammenti che il risultato viene ritornato in EAX.

```
push dword [x]
call fact
mov [y], eax ; considerando solo eax (32bit) il massimo è 12!
```

Per scrivere **fact** in modo che possa essere usata con l'istruzione **call** bisogna innanzitutto che abbia un **prologo**

```
fact:
    push ebp
    mov ebp, esp
```

e un **epilogo**

```
epilogo:
    mov esp, ebp
    pop ebp
    ret
```

Il corpo della funzione e poi sostanzialmente una selezione sul valore del parametro, cui ci si può comodamente riferirsi tramite EBP (che viene aggiornato a ogni chiamata ricorsiva).

```
    cmp dword [ebp+8], 1 ; se il primo parametro è uguale a 1
    jz easy
    mov eax, [ebp+8]
    sub eax, 1
    push eax                ; chiamata con (n - 1)
    call fact
    mul dword [ebp+8]       ; risultato in edx:eax
    jmp epilogo
easy:
    mov eax, 1
```

Mettendo insieme i pezzi:

```
fact:
    push ebp
    mov ebp, esp

    cmp dword [ebp+8], 1 ; se il primo parametro è uguale a 1
    jz easy
    mov eax, [ebp+8]
    sub eax, 1
    push eax                ; chiamata con (n - 1)
    call fact
    mul dword [ebp+8]       ; risultato in edx:eax
    jmp epilogo
easy:
    mov eax, 1

epilogo:
    mov esp, ebp
    pop ebp
    ret
```

5.1 Programma finale

```
extern scanf, printf, exit
global main
```



```

segment .text
main:

push imsg
call printf

    push x
    push ifmt
    call scanf

push dword [x]
call fact
mov [y], eax      ; considerando solo eax (32bit) il massimo è 12!

    push dword [y]
    push ofmt
    call printf

    push 0
    call exit

fact:
    push ebp
    mov ebp, esp

    cmp dword [ebp+8], 1 ; se il primo parametro è uguale a 1
    jz easy
    mov eax, [ebp+8]
    sub eax, 1
    push eax           ; chiamata con (n - 1)
    call fact
    mul dword [ebp+8] ; risultato in edx:eax
    jmp epilogo
easy:
    mov eax, 1

epilogo:
    mov esp, ebp
    pop ebp
    ret

segment .rodata
imsg: db 'Inserisci un numero intero positivo: ',0
ifmt: db '%d',0
ofmt: db 'Fattoriale: %d',10,0

segment .bss
x: resd 1
y: resd 1

```

6 Fattoriale con risultato a 64 bit

E se volessimo calcolare $13!$? In fondo la `mul` calcola il risultato a 64 bit, quindi non servono trucchi particolari. Semmai va adattata la chiamata alla `printf` (che al momento stampa la rappresentazione decimale di un intero a 32 bit)

Occorre quindi cambiare la stringa di formato:

```
ofmt: db 'Fattoriale: %lld',10,0
```

Anche la variabile usata per conservare il risultato dovrà essere a 64 bit:

```
y: resq 1
```

Poiché però lavoriamo a 32 bit (e quindi una `push qword` sarebbe illecita), ora occorreranno due `push` per quello che in realtà è un unico parametro.

```
push dword [y+4]
push dword [y]
push ofmt
```

E naturalmente all'uscita da `fact` occorre salvare sia `edx` che `eax` (anche qui con due istruzioni).

```
push dword [x]
call fact
mov [y], eax
mov [y+4], edx
```

6.1 Programma finale

```
extern scanf, printf, exit
global main
segment .text
main:
```

```
push msg
call printf
```

```
    push x
    push ifmt
    call scanf
```

```
push dword [x]
call fact
mov [y], eax
mov [y+4], edx
```

```
    push dword [y+4]
    push dword [y]
    push ofmt
    call printf
```

```

    push 0
    call exit

fact:
    push ebp
    mov ebp, esp

    cmp dword [ebp+8], 1 ; se il primo parametro è uguale a 1
    jz easy
    mov eax, [ebp+8]
    sub eax, 1
    push eax             ; chiamata con (n - 1)
    call fact
    mul dword [ebp+8]   ; risultato in edx:eax
    jmp epilogo
easy:
    mov eax, 1

epilogo:
    mov esp, ebp
    pop ebp
    ret

segment .rodata
imsg: db 'Inserisci un numero intero positivo: ',0
ifmt: db '%d',0
ofmt: db 'Fattoriale: %lld',10,0

segment .bss
x: resd 1
y: resq 1

```

7 Reverse

La memoria necessaria non è nota durante la scrittura del programma: va allocata dinamicamente una volta conosciuto il numero n di elementi conservare. Per ognuno di essi (sono numeri interi) servono 4 byte. L'indirizzo restituito dalla `malloc` viene conservato nel puntatore p .

```

mov eax, 4
mul dword [n]
push eax
call malloc
mov [p], eax

```

Poi si leggono gli n interi e li si salva nella memoria appena allocata.

```

    mov ecx, [n]
read:

```

```

cmp ecx, 0
jz wloop

sub ecx, 1
mov eax, 4
mul ecx
add eax, [p]

; non ci sono garanzie che scanf lasci intatto ECX,
; quindi è opportuno salvarlo sullo stack
push ecx

push eax ; ( servirà una pop per tornare a questo punto dello stack
push ifmt ; ( servirà una pop per tornare a questo punto dello stack
call scanf
pop ecx ; ) le due pop possono essere sostituite da: add esp, 8
pop ecx ; ) perché il valore "poppato" non è rilevante
pop ecx ; ripristino il contatore ECX

jmp read

```

Infine un nuovo ciclo a rovescio stampa i valori.

```

wloop:
mov ecx, 0
write:
cmp ecx, [n]
jz end

mov eax, 4
mul ecx
add eax, [p]

; non ci sono garanzie che printf lasci intatto ECX,
; quindi è opportuno salvarlo sullo stack
push ecx

push dword [eax] ; ( servirà una pop per tornare a questo punto dello stack
push ofmt ; ( servirà una pop per tornare a questo punto dello stack
call printf
pop ecx ; ) le due pop possono essere sostituite da: add esp, 8
pop ecx ; ) perché il valore "poppato" non è rilevante
pop ecx ; ripristino il contatore ECX

add ecx, 1
jmp write

```

Le istruzioni

```

mov eax, 4
mul ecx
add eax, [p]

```

servono a calcolare l'indirizzo della cella dell'array `p`, $(ecx-1)*sizeof(cella)$. Possono essere sostituite da un indirizzamento relativo scalato (molto più efficiente). La `lea` (Load Effective Address) carica in un registro l'indirizzo relativo calcolato. Se usassi una `mov` al posto della `lea` caricherei il **valore** a quell'indirizzo (probabilmente 0).

```
mov ebx, [p]
lea eax, [ebx + 4*ecx]
```

7.1 Programma finale

```
extern scanf, printf, exit, malloc
global main
segment .text
main:

push msg
call printf

    push n
    push ifmt
    call scanf

    push dword [n]
    push msgn
    call printf

mov eax, 4
mul dword [n]
push eax
call malloc
mov [p], eax

    mov ecx, [n]
read:
    cmp ecx, 0
    jz wloop

    sub ecx, 1
    mov eax, 4
    mul ecx
    add eax, [p]

    ; non ci sono garanzie che scanf lasci intatto ECX,
    ; quindi è opportuno salvarlo sullo stack
    push ecx

    push eax ; ( servirà una pop per tornare a questo punto dello stack
    push ifmt ; ( servirà una pop per tornare a questo punto dello stack
    call scanf
```

```

    pop ecx ; ) le due pop possono essere sostituite da: add esp, 8
    pop ecx ; ) perché il valore "poppato" non è rilevante
    pop ecx ; ripristino il contatore ECX

    jmp read

wloop:
    mov ecx, 0
write:
    cmp ecx, [n]
    jz end

    mov eax, 4
    mul ecx
    add eax, [p]

    ; non ci sono garanzie che printf lasci intatto ECX,
    ; quindi è opportuno salvarlo sullo stack
    push ecx

    push dword [eax] ; ( servirà una pop per tornare a questo punto dello stack
    push ofmt ; ( servirà una pop per tornare a questo punto dello stack
    call printf
    pop ecx ; ) le due pop possono essere sostituite da: add esp, 8
    pop ecx ; ) perché il valore "poppato" non è rilevante
    pop ecx ; ripristino il contatore ECX

    add ecx, 1
    jmp write

end:
    push 0
    call exit

segment .rodata
imsg: db 'Inserisci il numero di elementi: ',0
imsgn: db 'Inserisci i %d elementi: ',10,0
ifmt: db '%d',0
ofmt: db ':%d',10,0

segment .bss
n: resd 1
p: resd 1

```