

Documentazione Assembler per Esercitazioni di Reti Logiche A.A. 2025/26

Raffaele Zippo

23 ottobre 2025

Indice

1	Architettura x86	3
1.1	Registri	3
1.2	Memoria	4
1.3	Spazio di I/O	4
1.4	Condizioni al reset	4
2	Sezione .data	5
2.1	Direttive di allocazione	5
2.2	Valori letterali	5
3	Istruzioni processore x86	7
3.1	Immediati	7
3.2	Spostamento di dati	7
3.3	Aritmetica	8
3.4	Logica binaria	9
3.5	Traslazione e Rotazione	9
3.6	Controllo di flusso	9
3.7	Operazioni condizionali	10
3.8	Istruzioni stringa	11
3.9	Altre istruzioni	12
4	Sottoprogrammi di utility	13
4.1	Terminologia	13
4.2	Caratteri speciali	13
4.3	Sottoprogrammi	13
5	Debugger gdb	15
5.1	Controllo dell'esecuzione	15
5.2	Ispezione dei registri	16
5.3	Ispezione della memoria	16
5.4	Gestione dei breakpoints	17
6	Tabella ASCII	19
7	Ambiente d'esame e i suoi script	21
7.1	Aprire l'ambiente	21
7.2	Il terminale Powershell	22
7.3	Eseguire gli script	22
8	Problemi comuni	25
8.1	Setup dell'ambiente	25
8.2	Uso dell'ambiente	26
9	Essere efficienti con VS Code	27
9.1	Le basi elementari	27
9.2	Le basi un po' meno elementari	27
9.3	Editing multi-caret	27

1. Architettura x86

Riportiamo qui una vista *semplificata e riassuntiva* dell'architettura x86 per la quale scriveremo programmi assembler.

L'architettura x86 è a 32 bit. Questo implica che i registri generali, così come tutti gli indirizzi per locazioni in memoria, sono a 32 bit. L'evoluzione di questa architettura, x64 a 64 bit, che è quella che troviamo nei processori in commercio, è del tutto retrocompatibile.

Importanti semplificazioni

La visione del processore che proponiamo è molto limitata, e omette diversi importanti registri, flag e funzionalità che saranno esplorati in corsi successivi. Questi includono, per esempio, il registro `ebp`, la natura dei meccanismi di protezione, il significato di `SEGMENTATION FAULT`, e che cosa sia un *kernel*.

Quanto discutiamo è tuttavia sufficiente agli scopi didattici di questo corso.

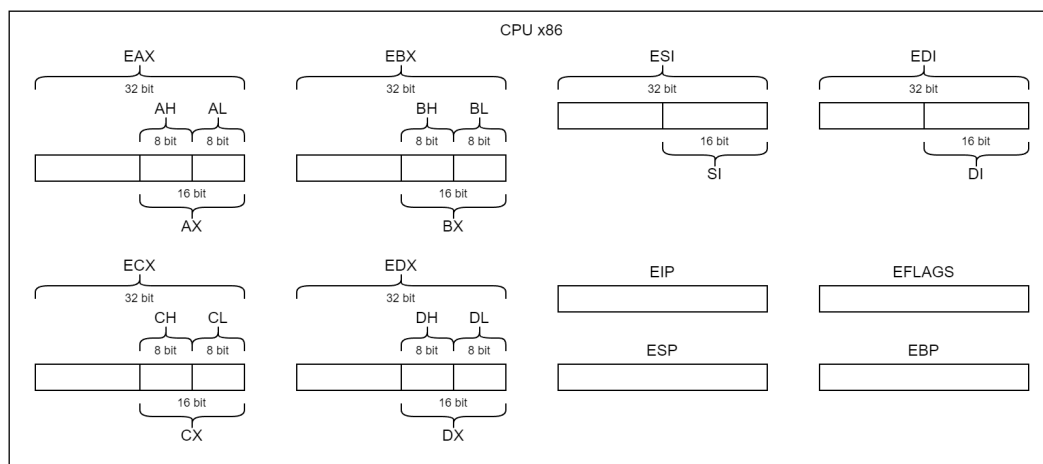
1.1 Registri

I registri che utilizzeremo *direttamente* sono 6: `eax`, `ebx`, `ecx`, `edx`, `esi`, `edi`. Per i primi quattro di questi, è possibile operare sulle loro porzioni a 16 e 8 bit tramite `ax`, `ah`, `al` e così via. Per i registri `esi` ed `edi` è possibile operare solo sulle porzioni a 16 bit, tramite `si` e `di`. Tipicamente, i registri `eax...` `edx` sono utilizzati per processare dati, mentre `esi` ed `edi` sono utilizzati come registri puntatori. Questa divisione di utilizzo non è però affatto obbligatoria per la maggior parte delle istruzioni.

Altri registri sono invece utilizzati in modo indiretto:

- `esp` è il registro puntatore per la *cima* dello stack, viene utilizzato da `pop` / `push` per prelevare/spostare valori nella pila, e da `call` / `ret` per la chiamata di sottoprogrammi;
- `eip` è il registro puntatore verso la prossima istruzione da eseguire, viene incrementato alla fine del *fetch* di una istruzione e modificato da istruzioni che cambiano il flusso d'esecuzione, come `call`, `ret` e le varie `jmp`;
- `eflags` è il registro dei flag, una serie di booleani con informazioni sullo stato dell'esecuzione e sul risultato dell'ultima operazione aritmetica. I flag di nostro interesse sono il carry flag `CF` (posizione 0), lo zero flag `ZF` (6), il sign flag `SF` (7), l'overflow flag `OF` (11). Sono tipicamente aggiornati dalle istruzioni aritmetiche, e testati indirettamente con istruzioni condizionali come `jcon`, `set` e `cmov`.

Di seguito uno schema funzionale dei registri del processore x86.



1.2 Memoria

Lo spazio di memoria dell'architettura x86 è indirizzato su 32 bit. Ciascun indirizzo corrisponde a un byte, ma è possibile eseguire anche letture e scritture a 16 e 32 bit.

Per tali casi è importante ricordare che l'architettura x86 è *little-endian*, che significa **little end first**, [un riferimento a I viaggi di Gulliver](#). Questo si traduce nel fatto che quando un valore di n byte viene salvato in memoria *a partire* dall'indirizzo a , il byte meno significativo del valore viene salvato in a , il secondo meno significativo in $a + 1$, e così via fino al più significativo in $a + (n - 1)$.

Questo ordinamento dei bytes in memoria non inficia sulla coerenza dei dati nei registri: eseguendo `movl %eax, a` e `movl a, %eax` il contenuto di `eax` non cambia, e l'ordinamento dei bit rimane coerente.

I *meccanismi di protezione* ci precludono l'accesso alla maggior parte dello spazio di memoria. Potremmo accedere senza incorrere in errori solo

1. allo stack
2. allo spazio allocato nella sezione `.data`
3. alle istruzioni nella sezione `.text`

Queste sezioni tipicamente non includono gli indirizzi “bassi”, cioè a partire da `0x0`.

È importante anche tenere presente che

1. non è possibile *eseguire* istruzioni dallo stack e da `.data`
2. non è possibile *scrivere* nella sezione `.text`

Vanno quindi opportunamente dichiarate le sezioni, e vanno evitate operazioni di `jmp`, `call` etc. verso locazioni di `.data` così come le `mov` verso locazioni di `.text`.

In caso di violazione di questi meccanismi, l'errore più tipico è `SEGMENTATION FAULT`.

1.3 Spazio di I/O

Lo spazio di I/O, sia quello fisico (monitor, speaker, tastiera, etc.) sia quello virtuale (terminale, files su disco, etc.) ci è in realtà precluso tramite *meccanismi di protezione*. Tentare di eseguire istruzioni `in` o `out` porterà infatti al brusco arresto del programma. Il nostro programma può interagire con lo spazio di I/O solo tramite il *kernel* del *sistema operativo*.

Tutta questa complessità è astratta tramite i *sottoprogrammi di input/output* dell'ambiente, documentati [qui](#).

1.4 Condizioni al reset

Il reset iniziale e l'avvio del nostro programma sono concetti completamente diversi e scollegati. Non possiamo sfruttare nessuna ipotesi sullo stato dei registri al momento dell'avvio del nostro programma, se non che il registro `eip` punterà a un certo punto alla prima istruzione di `_main`.

Il fatto che `_main` sia l'entry point del nostro programma, così come l'uso di `ret` senza alcun valore di ritorno, è una caratteristica di *questo ambiente*.

2. Sezione .data

Un programma assembler è tipicamente diviso in sezione `.data`, dove vengono allocato spazio in memoria a disposizione del programma, e sezione `.text`, dove viene indicata la sequenza di istruzione che compone il programma.

La sezione `data` è tipicamente composta da una serie di dichiarazioni nella forma `nomeVariabile: .tipo <parametri di inizializzazione>`. Alcuni esempi:

```
.data
var1: .long 5
var2: .byte 0x2d, 0x01
str: .asciz "Una stringa"
```

Ciascuna direttiva non fa che allocare uno o più blocchi di memoria contigui della dimensione richiesta e con il contenuto iniziale richiesto.

Ciascuna *label* non è che un indirizzo al primo byte di tale blocco contiguo di memoria. Dato che l'architettura x86 è *little-endian*, tale primo byte sarà il meno significativo.

2.1 Direttive di allocazione

Tipo	Notazione	Descrizione
byte	<code>.byte V1 [, V2...]</code>	Alloca uno o più byte, inizializzati con i valori forniti.
word	<code>.word V1 [, V2...]</code>	Alloca uno o più word (2 byte), inizializzati con i valori forniti.
long	<code>.long V1 [, V2...]</code>	Alloca uno o più long (4 byte), inizializzati con i valori forniti.
fill	<code>.fill n, l, v</code>	Alloca n locazioni di l byte ciascuno e inizializzati a v . l e v si possono omettere, di default sono 1 e 0.
ascii	<code>.ascii "str"</code>	Alloca la stringa <code>str</code> , 1 byte per carattere.
asciz	<code>.asciz "str"</code>	Alloca la stringa <code>str</code> , 1 byte per carattere, aggiungendo un byte <code>0x00</code> in fondo.

L'assemblatore supporta anche altre direttive e usi più complessi. Per maggiori informazioni, la documentazione ufficiale è [qui](#).

2.2 Valori letterali

Il contenuto di ciascuna allocazione è definito tramite valori letterali, che devono essere *costanti* note o derivabili a tempo di compilazione.

Tipo	Esempio	Descrizione
Decimale	<code>.byte 2</code>	Costante in notazione decimale.
Esadecimale	<code>.byte 0x0d</code>	Costante in notazione esadecimale.
Binario	<code>.byte 0b00001101</code>	Costante in notazione binaria.
ASCII	<code>.byte 'a', 'r'</code>	Costante in notazione ASCII, il carattere viene tradotto nel byte corrispondente.
label	<code>.long val0</code>	Indirizzo corrispondente a un'altra label.
label e offset	<code>.long val0+1</code>	Indirizzo corrispondente a un'altra label, più offset. La scala è sempre 1.

Attenzione alle dimensioni

I valori letterali vengono automaticamente troncati o estesi per rientrare nelle dimensioni specificate dalla direttiva.

```
.data
b1: .byte 0x0d0e # viene troncato a 0x0e
w1: .word 0x0d    # viene esteso a 0x000d
w2: .word 0xf1    # viene esteso a 0x00f1
```


3. Istruzioni processore x86

Le seguenti tabelle sono per *riferimento rapido* : sono utili per la programmazione pratica, ma omettono molteplici dettagli che serve sapere, e che trovate nel resto del materiale.

Si ricorda che utilizziamo la sintassi GAS/AT&T, dove le istruzioni sono nel formato *opcode source destination*. Nella colonna notazione, indicheremo con [bwl] le istruzioni che richiedono la specifica delle dimensioni. Quando la dimensione è deducibile dai registri utilizzati, questi suffissi si possono omettere. Per gli operandi, useremo le seguenti sigle:

- *r* per un registro (come in `mov %eax, %ebx`);
- *m* per un indirizzo di memoria;
- *i* per un valore immediato (come in `mov $0, %eax`).

Per gli indirizzi in memoria, abbiamo a disposizione tre notazioni:

- immediato, come in `mov numero, %eax`;
- tramite registro, come in `mov (%esi), %eax`;
- con indice, come in `mov matrice(%esi, %ecx, 4), %eax`.

Si ricorda che non tutte le combinazioni sono permesse nell'architettura x86: nessuna istruzione generale supporta l'indicazione di *entrambi* gli operandi in memoria (cioè, non si può scrivere `movl x, y` o `mov (%eax), (%ebx)`). Fanno eccezione le istruzioni stringa come la *movs*, usando operandi impliciti.

3.1 Immediati

Si parla di immediati quando si usano valori costanti all'interno di una istruzione. Sia l'assemblatore che le istruzioni distinguono due tipi di immediato, indirizzo e valore, e si comportano in modo diverso in base a ciò. Per esempio, una *mov* che ha come sorgente un indirizzo immediato legge il valore contenuto a quell'indirizzo, mentre con un valore immediato legge semplicemente il valore.

Tipo	Esempio	Descrizione
Indirizzo letterale	<code>mov 0x01f2a3b0, %eax</code>	Un indirizzo a 32 bit. Valori più piccoli, come 0x0d, vengono automaticamente estesi con 0.
Indirizzo tramite label	<code>mov val0, %eax</code>	Un indirizzo tramite label, per esempio proveniente dalla sezione <code>.data</code> .
Valore decimale	<code>mov \$3, %al</code>	Costante in notazione decimale.
Valore esadecimale	<code>mov \$0x0d, %al</code>	Costante in notazione esadecimale.
Valore binario	<code>mov \$0b00001101, %al</code>	Costante in notazione binaria.
Valore ASCII	<code>mov \$'r', %al</code>	Costante in notazione ASCII, il carattere viene tradotto nel byte corrispondente.

Attenti al \$

Nella sintassi GAS che utilizziamo, il modo con cui si dice all'assemblatore che un immediato è un valore, e non un indirizzo, è il `$`. Dimenticarlo è fonte di `SEGMENTATION FAULT` quando va bene, bug molto bizzari quando va male.

3.2 Spostamento di dati

Istruzione	Nome esteso	Notazione	Comportamento
<code>mov</code>	Move	<code>mov[bwl] r/m/i, r/m</code>	Scrive il valore sorgente nel destinatario. Non modifica alcun flag.
<code>lea</code>	Load Effective Address	<code>lea m, r</code>	Scrive l'indirizzo <i>m</i> nel registro destinatario.
<code>xchg</code>	Exchange	<code>xchg[bwl] r/m, r/m</code>	Scambia il valore del sorgente con quello del destinatario.

cbw	Convert Byte to Word	cbw	Estende il contenuto di %al su %ax, interpretandone il contenuto come intero.
cwde	Convert Word to Doubleword	cwde	Estende il contenuto di %ax su %eax, interpretandone il contenuto come intero.
push	Push onto the Stack	push[wl] r/m/i	Aggiunge il valore sorgente in cima allo stack (destinatario implicito).
pop	Pop from the Stack	pop[wl] r/m	Rimuove un valore dallo stack (sorgente implicito) lo scrive nel destinatario.

3.3 Aritmetica

Istruzione	Nome esteso	Notazione	Comportamento
add	Addition	add[bwl] r/m/i, r/m	Somma sorgente e destinatario, scrive il risultato sul destinatario. Valido sia per naturali che interi. Aggiorna SF, ZF, CF e OF.
sub	Subtraction	sub[bwl] r/m/i, r/m	Sottrae il sorgente dal destinatario, scrive il risultato sul destinatario. Valido sia per naturali che interi. Aggiorna SF, ZF, CF e OF.
adc	Addition with Carry	adc[bwl] r/m/i, r/m	Somma sorgente, destinatario e CF, scrive il risultato sul destinatario. Valido sia per naturali che interi. Aggiorna SF, ZF, CF e OF.
sbb	Subtraction with Borrow	sub[bwl] r/m/i, r/m	Sottrae il sorgente e CF dal destinatario, scrive il risultato sul destinatario. Valido sia per naturali che interi. Aggiorna SF, ZF, CF e OF.
inc	Increment	inc[bwl] r/m	Somma 1 (sorgente implicito) al destinatario. Aggiorna SF, ZF, e OF, ma non CF.
dec	Decrement	dec[bwl] r/m	Sottrae 1 (sorgente implicito) al destinatario. Aggiorna SF, ZF, e OF, ma non CF.
neg	Negation	neg[bwl] r/m	Sostituisce il destinatario con il suo opposto. Aggiorna ZF, SF e OF. Modifica CF.

Le seguenti istruzioni hanno operandi e destinatari impliciti, che variano in base alla dimensione dell'operazione. Usano in oltre composizioni di più registri: useremo %dx_%ax per indicare un valore i cui bit più significativi sono scritti in %dx e quelli meno significativi in %ax.

Istruzione	Nome esteso	Notazione	Comportamento
mul	Unsigned Multiply, 8 bit	mulb r/m	Calcola su 16 bit il prodotto tra naturali del sorgente e %al, scrive il risultato su %ax. Se il risultato non è riducibile a 8 bit, mette CF e OF a 1, altrimenti a 0.
mul	Unsigned Multiply, 16 bit	mulw r/m	Calcola su 32 bit il prodotto tra naturali del sorgente e %ax, scrive il risultato su %dx_%ax. Se il risultato non è riducibile a 16 bit, mette CF e OF a 1, altrimenti a 0.
mul	Unsigned Multiply, 32 bit	mull r/m	Calcola su 64 bit il prodotto tra naturali del sorgente e %eax, scrive il risultato su %edx_%eax. Se il risultato non è riducibile a 32 bit, mette CF e OF a 1, altrimenti a 0.
imul	Signed Multiply, 8 bit	imulb r/m	Calcola su 16 bit il prodotto tra interi del sorgente e %al, scrive il risultato su %ax. Se il risultato non è riducibile a 8 bit, mette CF e OF a 1, altrimenti a 0.
imul	Signed Multiply, 16 bit	imulw r/m	Calcola su 32 bit il prodotto tra interi del sorgente e %ax, scrive il risultato su %dx_%ax. Se il risultato non è riducibile a 16 bit, mette CF e OF a 1, altrimenti a 0.
imul	Signed Multiply, 32 bit	imull r/m	Calcola su 64 bit il prodotto tra interi del sorgente e %eax, scrive il risultato su %edx_%eax. Se il risultato non è riducibile a 32 bit, mette CF e OF a 1, altrimenti a 0.

Istruzione	Nome esteso	Notazione	Comportamento
div	Unsigned Divide, 8 bit	divb r/m	Calcola su 8 bit la divisione tra naturali tra %ax (dividendo implicito) e il sorgente (divisore). Scrive il quoziente su %al e il resto su %ah. Se il quoziente non è rappresentabile su 8 bit, causa <i>crash del programma</i> .
div	Unsigned Divide, 16 bit	divw r/m	Calcola su 16 bit la divisione tra naturali tra %dx_%ax (dividendo implicito) e il sorgente (divisore). Scrive il quoziente su %ax e il resto su %dx. Se il quoziente non è rappresentabile su 16 bit, causa <i>crash del programma</i> .
div	Unsigned Divide, 32 bit	divl r/m	Calcola su 32 bit la divisione tra naturali tra %edx_%eax (dividendo implicito) e il sorgente (divisore). Scrive il quoziente su %eax e il resto su %edx. Se il quoziente non è rappresentabile su 32 bit, causa <i>crash del programma</i> .
idiv	Signed Divide, 8 bit	idivb r/m	Calcola su 8 bit la divisione tra interi tra %ax (dividendo implicito) e il sorgente (divisore). Scrive il quoziente su %al e il resto su %ah. Se il quoziente non è rappresentabile su 8 bit, causa <i>crash del programma</i> .
idiv	Signed Divide, 16 bit	idivw r/m	Calcola su 16 bit la divisione tra interi tra %dx_%ax (dividendo implicito) e il sorgente (divisore). Scrive il quoziente su %ax e il resto su %dx. Se il quoziente non è rappresentabile su 16 bit, causa <i>crash del programma</i> .
idiv	Signed Divide, 32 bit	idivl r/m	Calcola su 32 bit la divisione tra interi tra %edx_%eax (dividendo implicito) e il sorgente (divisore). Scrive il quoziente su %eax e il resto su %edx. Se il quoziente non è rappresentabile su 32 bit, causa <i>crash del programma</i> .

3.4 Logica binaria

Le seguenti istruzioni operano *bit a bit* : data per esempio la *and*, l'*i*-esimo bit del risultato è l'*and* logico tra gli *i*-esimi bit di sorgente e destinatario.

Istruzione	Notazione	Comportamento
not	not[bwl] r/m	Sostituisce il destinatario con la sua negazione.
and	and r/m/i, r/m	Calcola l' <i>and</i> logico tra sorgente e destinatario, scrive il risultato sul destinatario.
or	or r/m/i, r/m	Calcola l' <i>or</i> logico tra sorgente e destinatario, scrive il risultato sul destinatario.
xor	xor r/m/i, r/m	Calcola lo <i>xor</i> logico tra sorgente e destinatario, scrive il risultato sul destinatario.

3.5 Traslazione e Rotazione

Istruzione	Nome esteso	Notazione	Comportamento
shl	Shift Logical Left	shl[bwl] i/r r/m	Sia <i>n</i> l'operando sorgente, esegue lo shift a sinistra del destinatario <i>n</i> volte, impostando a 0 gli <i>n</i> bit meno significativi. In ciascuno shift, il bit più significativo viene lasciato in CF. Come registro sorgente si può utilizzare solo %c _L . Il sorgente può essere omissso, in quel caso <i>n</i> = 1.
sal	Shift Arithmetic Left	sal[bwl] i/r r/m	Sia <i>n</i> l'operando sorgente, esegue lo shift a sinistra del destinatario <i>n</i> volte, impostando a 0 gli <i>n</i> bit meno significativi. In ciascuno shift, il bit più significativo viene lasciato in CF. Se il bit più significativo ha cambiato valore almeno una volta, imposta OF a 1. Come registro sorgente si può utilizzare solo %c _L . Il sorgente può essere omissso, in quel caso <i>n</i> = 1.
shr	Shift Logical Right	shr[bwl] i/r r/m	Sia <i>n</i> l'operando sorgente, esegue lo shift a destra del destinatario <i>n</i> volte, impostando a 0 gli <i>n</i> bit più significativi. In ciascuno shift, il bit meno significativo viene lasciato in CF. Come registro sorgente si può utilizzare solo %c _L . Il sorgente può essere omissso, in quel caso <i>n</i> = 1.
sar	Shift Arithmetic Right	sar[bwl] i/r r/m	Sia <i>n</i> l'operando sorgente e <i>s</i> il valore del bit più significativo del destinatario, esegue lo shift a destra del destinatario <i>n</i> volte, impostando a <i>s</i> gli <i>n</i> bit più significativi. In ciascuno shift, il bit meno significativo viene lasciato in CF. Come registro sorgente si può utilizzare solo %c _L . Il sorgente può essere omissso, in quel caso <i>n</i> = 1.
rol	Rotate Left	rol[bwl] i/r r/m	Sia <i>n</i> l'operando sorgente, esegue la rotazione a sinistra del destinatario <i>n</i> volte. In ciascuna rotazione, il bit più significativo viene <i>sia</i> lasciato in CF <i>sia</i> ricopiato al posto del bit meno significativo. Come registro sorgente si può utilizzare solo %c _L . Il sorgente può essere omissso, in quel caso <i>n</i> = 1.
ror	Rotate Right	ror[bwl] i/r r/m	Sia <i>n</i> l'operando sorgente, esegue la rotazione a destra del destinatario <i>n</i> volte. In ciascuna rotazione, il bit meno significativo viene <i>sia</i> lasciato in CF <i>sia</i> ricopiato al posto del bit più significativo. Come registro sorgente si può utilizzare solo %c _L . Il sorgente può essere omissso, in quel caso <i>n</i> = 1.
rcl	Rotate with Carry Left	rcl[bwl] i/r r/m	Sia <i>n</i> l'operando sorgente, esegue la rotazione con carry a sinistra del destinatario <i>n</i> volte. In ciascuna rotazione, il bit più significativo viene lasciato in CF, mentre il valore di CF viene ricopiato al posto del bit meno significativo. Come registro sorgente si può utilizzare solo %c _L . Il sorgente può essere omissso, in quel caso <i>n</i> = 1.
rcr	Rotate with Carry Right	rcr[bwl] i/r r/m	Sia <i>n</i> l'operando sorgente, esegue la rotazione con carry a destra del destinatario <i>n</i> volte. In ciascuna rotazione, il bit meno significativo viene lasciato in CF, mentre il valore di CF viene ricopiato al posto del bit più significativo. Come registro sorgente si può utilizzare solo %c _L . Il sorgente può essere omissso, in quel caso <i>n</i> = 1.

3.6 Controllo di flusso

Istruzione	Nome esteso	Notazione	Comportamento
jmp	Unconditional Jump	jmp m/r	Salta incondizionatamente all'indirizzo specificato.
call	Call Procedure	call m/r	Chiamata a procedura all'indirizzo specificato. Salva l'indirizzo della prossima istruzione nello stack, così che il flusso corrente possa essere ripreso con una <i>ret</i> .
ret	Return from Procedure	ret	Ritorna a un flusso di esecuzione precedente, rimuovendo dallo stack l'indirizzo precedentemente salvato da una <i>call</i> .

La tabella seguente elenca i salti condizionati. I salti condizionati usano i flag per determinare se la condizione di salto è vera. Per un uso sempre coerente, assicurarsi che l'istruzione di salto segua immediatamente una *cmp*, o altre istruzioni che non hanno modificano i flag dopo la *cmp*. Dati gli operandi della *cmp* e una condizione *c*, per esempio *c* = "maggiore o uguale", la condizione è vera se destinatario *c* sorgente. Nella tabella che segue, quando ci si riferisce a un confronto fra sorgente e destinatario si intendono gli operandi della *cmp* precedente.

Istruzione	Nome esteso	Notazione	Comportamento
cmp	Compare Two Operands	cmp[bwl] r/m/i, r/m	Confronta i due operandi e aggiorna i flag di conseguenza.
je	Jump if Equal	je m	Salta se destinatario == sorgente.
jne	Jump if Not Equal	jne m	Salta se destinatario != sorgente.
ja	Jump if Above	ja m	Salta se, interpretandoli come naturali, destinatario > sorgente.
jae	Jump if Above or Equal	jae m	Salta se, interpretandoli come naturali, destinatario >= sorgente.
jb	Jump if Below	jb m	Salta se, interpretandoli come naturali, destinatario < sorgente.
jbe	Jump if Below or Equal	jbe m	Salta se, interpretandoli come naturali, destinatario <= sorgente.
jg	Jump if Greater	jg m	Salta se, interpretandoli come interi, destinatario > sorgente.
jge	Jump if Greater or Equal	jge m	Salta se, interpretandoli come interi, destinatario >= sorgente.
jl	Jump if Less	jl m	Salta se, interpretandoli come interi, destinatario < sorgente.
jle	Jump if Less or Equal	jle m	Salta se, interpretandoli come interi, destinatario <= sorgente.
jz	Jump if Zero	jz m	Salta se ZF è 1.
jnz	Jump if Not Zero	jnz m	Salta se ZF è 0.
jc	Jump if Carry	jc m	Salta se CF è 1.
jnc	Jump if Not Carry	jnc m	Salta se CF è 0.
jo	Jump if Overflow	jo m	Salta se OF è 1.
jno	Jump if Not Overflow	jno m	Salta se OF è 0.
js	Jump if Sign	js m	Salta se SF è 1.
jns	Jump if Not Sign	jns m	Salta se SF è 0.

3.7 Operazioni condizionali

Per alcune operazioni tipiche, sono disponibili istruzioni specifiche il cui comportamento dipende dai flag e, quindi, dal risultato di una precedente `cmp`. Anche qui, quando ci si riferisce a un confronto fra sorgente e destinatario si intendono gli operandi della `cmp` precedente.

La famiglia di istruzioni `loop` supporta i cicli condizionati più tipici. Rimangono d'interesse didattico come istruzioni specializzate ma, curiosamente, nei processori moderni sono generalmente meno performanti degli equivalenti che usino `dec`, `cmp` e salti condizionali.

Istruzione	Nome esteso	Notazione	Comportamento
loop	Unconditional Loop	loop m	Decrementa <code>%ecx</code> e salta se il risultato è (ancora) diverso da 0.
loope	Loop if Equal	loope m	Decrementa <code>%ecx</code> e salta se entrambe le condizioni sono vere: 1) <code>%ecx</code> è (ancora) diverso da 0, 2) destinatario == sorgente.
loopne	Loop if Not Equal	loopne m	Decrementa <code>%ecx</code> e salta se entrambe le condizioni sono vere: 1) <code>%ecx</code> è (ancora) diverso da 0, 2) destinatario != sorgente.
loopz	Loop if Zero	loopz m	Decrementa <code>%ecx</code> e salta se entrambe le condizioni sono vere: 1) <code>%ecx</code> è (ancora) diverso da 0, 2) ZF è 1.
loopnz	Loop if Not Zero	loopnz m	Decrementa <code>%ecx</code> e salta se entrambe le condizioni sono vere: 1) <code>%ecx</code> è (ancora) diverso da 0, 2) ZF è 0.

La famiglia di istruzioni `set` permette di salvare il valore di un confronto in un registro o locazione di memoria. Tale operando può essere solo da 1 byte.

Istruzione	Nome esteso	Notazione	Comportamento
sete	Set if Equal	sete r/m	Imposta l'operando a 1 se destinatario == sorgente, a 0 altrimenti.
setne	Set if Not Equal	setne r/m	Imposta l'operando a 1 se destinatario != sorgente, a 0 altrimenti.
seta	Set if Above	seta r/m	Imposta l'operando a 1 se, interpretandoli come naturali, destinatario > sorgente, a 0 altrimenti.
setae	Set if Above or Equal	setae r/m	Imposta l'operando a 1 se, interpretandoli come naturali, destinatario >= sorgente, a 0 altrimenti.
setb	Set if Below	setb r/m	Imposta l'operando a 1 se, interpretandoli come naturali, destinatario < sorgente, a 0 altrimenti.
setbe	Set if Below or Equal	setbe r/m	Imposta l'operando a 1 se, interpretandoli come naturali, destinatario <= sorgente, a 0 altrimenti.
setg	Set if Greater	setg r/m	Imposta l'operando a 1 se, interpretandoli come interi, destinatario > sorgente, a 0 altrimenti.
setge	Set if Greater or Equal	setge r/m	Imposta l'operando a 1 se, interpretandoli come interi, destinatario >= sorgente, a 0 altrimenti.
setl	Set if Less	setl r/m	Imposta l'operando a 1 se, interpretandoli come interi, destinatario < sorgente, a 0 altrimenti.

setle	Set if Less or Equal	setle r/m	Imposta l'operando a 1 se, interpretandoli come interi, destinatario <= sorgente, a 0 altrimenti.
setz	Set if Zero	setz r/m	Imposta l'operando a 1 se ZF è 1, a 0 altrimenti.
setnz	Set if Not Zero	setnz r/m	Imposta l'operando a 1 se ZF è 0, a 0 altrimenti.
setc	Set if Carry	setc r/m	Imposta l'operando a 1 se CF è 1, a 0 altrimenti.
setnc	Set if Not Carry	setnc r/m	Imposta l'operando a 1 se CF è 0, a 0 altrimenti.
seto	Set if Overflow	seto r/m	Imposta l'operando a 1 se OF è 1, a 0 altrimenti.
setno	Set if Not Overflow	setno r/m	Imposta l'operando a 1 se OF è 0, a 0 altrimenti.
sets	Set if Sign	sets r/m	Imposta l'operando a 1 se SF è 1, a 0 altrimenti.
setns	Set if Not Sign	setns r/m	Imposta l'operando a 1 se SF è 0, a 0 altrimenti.

La famiglia di istruzioni `cmov` permette di eseguire, solo se il confronto ha avuto successo, una `mov` da memoria a registro o da registro a registro. Gli operandi possono essere solo a 2 o 4 byte, non 1.

Istruzione	Nome esteso	Notazione	Comportamento
<code>cmove</code>	Move if Equal	<code>cmove[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se destinatario == sorgente, altrimenti non fa nulla.
<code>cmovne</code>	Move if Not Equal	<code>cmovne[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se destinatario != sorgente, altrimenti non fa nulla.
<code>cmova</code>	Move if Above	<code>cmova[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se, interpretandoli come naturali, destinatario > sorgente, altrimenti non fa nulla.
<code>cmovae</code>	Move if Above or Equal	<code>cmovae[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se, interpretandoli come naturali, destinatario >= sorgente, altrimenti non fa nulla.
<code>cmovb</code>	Move if Below	<code>cmovb[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se, interpretandoli come naturali, destinatario < sorgente, altrimenti non fa nulla.
<code>cmovbe</code>	Move if Below or Equal	<code>cmovbe[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se, interpretandoli come naturali, destinatario <= sorgente, altrimenti non fa nulla.
<code>cmovg</code>	Move if Greater	<code>cmovg[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se, interpretandoli come interi, destinatario > sorgente, altrimenti non fa nulla.
<code>cmovge</code>	Move if Greater or Equal	<code>cmovge[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se, interpretandoli come interi, destinatario >= sorgente, altrimenti non fa nulla.
<code>cmovl</code>	Move if Less	<code>cmovl[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se, interpretandoli come interi, destinatario < sorgente, altrimenti non fa nulla.
<code>cmovle</code>	Move if Less or Equal	<code>cmovle[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se, interpretandoli come interi, destinatario <= sorgente, altrimenti non fa nulla.
<code>cmovz</code>	Move if Zero	<code>cmovz[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se ZF è 1, altrimenti non fa nulla.
<code>cmovnz</code>	Move if Not Zero	<code>cmovnz[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se ZF è 0, altrimenti non fa nulla.
<code>cmovc</code>	Move if Carry	<code>cmovc[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se CF è 1, altrimenti non fa nulla.
<code>cmovnc</code>	Move if Not Carry	<code>cmovnc[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se CF è 0, altrimenti non fa nulla.
<code>cmovo</code>	Move if Overflow	<code>cmovo[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se OF è 1, altrimenti non fa nulla.
<code>cmovno</code>	Move if Not Overflow	<code>cmovno[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se OF è 0, altrimenti non fa nulla.
<code>cmovs</code>	Move if Sign	<code>cmovs[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se SF è 1, altrimenti non fa nulla.
<code>cmovns</code>	Move if Not Sign	<code>cmovns[wl] r/m r</code>	Esegue la <code>mov</code> se SF è 0, altrimenti non fa nulla.

3.8 Istruzioni stringa

Le istruzioni stringa sono ottimizzate per eseguire operazioni tipiche su vettori in memoria. Hanno esclusivamente operandi impliciti, che rende la specifica delle dimensioni *non* opzionale.

Istruzione	Nome esteso	Notazione	Comportamento
<code>cld</code>	Clear Direction Flag	<code>cld</code>	Imposta DF a 0, implicando che le istruzioni stringa procederanno per indirizzi crescenti.
<code>std</code>	Set Direction Flag	<code>std</code>	Imposta DF a 1, implicando che le istruzioni stringa procederanno per indirizzi decrescenti.
<code>lods</code>	Load String	<code>lods[bwl]</code>	Legge 1/2/4 byte all'indirizzo in <code>%esi</code> e lo scrive in <code>%al</code> / <code>%ax</code> / <code>%eax</code> . Se DF è 0, incrementa <code>%esi</code> di 1/2/4, se è 1 lo decrementa.
<code>stos</code>	Store String	<code>stos[bwl]</code>	Legge il valore in <code>%al</code> / <code>%ax</code> / <code>%eax</code> e lo scrive nei 1/2/4 byte all'indirizzo in <code>%edi</code> . Se DF è 0, incrementa <code>%edi</code> di 1/2/4, se è 1 lo decrementa.
<code>movs</code>	Move String to String	<code>movs[bwl]</code>	Legge 1/2/4 byte all'indirizzo in <code>%esi</code> e lo scrive nei 1/2/4 byte all'indirizzo in <code>%edi</code> . Se DF è 0, incrementa <code>%edi</code> di 1/2/4, se è 1 lo decrementa.

cmps	Compare Strings	cmps[bwl]	Confronta gli 1/2/4 byte all'indirizzo in %esi (sorgente) con quelli all'indirizzo in %edi (destinatario). Aggiorna i flag così come fa cmp.
scas	Scan String	scas[bwl]	Confronta %al / %ax / %eax (sorgente) con gli 1/2/4 byte all'indirizzo in %edi (destinatario). Aggiorna i flag così come fa cmp.

Repeat Instruction

Le istruzioni stringa possono essere ripetute senza controllo di programma, usando il prefisso rep.

Istruzione	Nome esteso	Notazione	Comportamento
rep	Unconditional Repeat Instruction	rep [opcode]	Dato n il valore in %ecx, ripete l'operazione opcode n volte, decrementando %ecx fino a 0. Compatibile con lods, stos, movs.
repe	Repeat Instruction if Equal	repe [opcode]	Dato n il valore in %ecx, decrementa %ecx e ripete l'operazione opcode finché 1) %ecx è (ancora) diverso da 0, e 2) gli operandi di questa ripetizione erano uguali. Compatibile con cmps e scas.
repne	Repeat Instruction if Not Equal	repne [opcode]	Dato n il valore in %ecx, decrementa %ecx e ripete l'operazione opcode finché 1) %ecx è (ancora) diverso da 0, e 2) gli operandi di questa ripetizione erano disuguali. Compatibile con cmps e scas.

3.9 Altre istruzioni

Istruzione	Nome esteso	Notazione	Comportamento
nop	No Operation	nop	Non cambia lo stato del processore in alcun modo, eccetto per il registro %eip.

Le seguenti istruzioni sono di interesse didattico ma non per le esercitazioni, in quanto richiedono privilegi di esecuzione.

Istruzione	Nome esteso	Notazione	Comportamento
in	Input from Port	in r/i r	Legge da una porta di input a un registro.
out	Output to Port	out r r/i	Scriva da un registro a una porta di output.
ins	Input String from Port	ins[bwl]	Legge 1/2/4 byte dalla porta di input indicata in %dx e li scrive nei 1/2/4 byte all'indirizzo in %edi.
outs	Output String to Port	outs[bwl]	Legge 1/2/4 byte all'indirizzo indicato da %esi e li scrive alla porta di output indicata in %dx.
hlt	Halt	hlt	Blocca ogni operazione del processore.

4. Sottoprogrammi di utility

Nell'architettura del processore, menzioniamo registri, istruzioni e locazioni di memoria. Quando scriviamo programmi, sfruttiamo però il concetto di *terminale*, un'interfaccia dove l'utente legge caratteri e ne scrive usando la tastiera. Come questo possa avvenire è argomento di altri corsi, dove verranno presentate le *interruzioni*, il *kernel*, e in generale cosa fa un *sistema operativo*.

In questo corso ci limitiamo a sfruttare queste funzionalità tramite del codice ad hoc contenuto in `utility.s`. Queste funzionalità sono fornite come sottoprogrammi, che hanno i loro specifici comportamenti da tenere a mente.

Per utilizzare questi sottoprogrammi, utilizziamo la direttiva

```
.include "../files/utility.s"
```

4.1 Terminologia

Con *leggere caratteri da tastiera* si intende che il programma resta in attesa che l'utente prema un tasto sulla tastiera, inviando la codifica di quel tasto al programma.

Con *mostrare a terminale* si intende che il programma stampa un carattere a video.

Con *fare eco* di un carattere si intende che il programma, subito dopo aver letto un carattere da tastiera, lo mostra anche a schermo. Questo è il comportamento interattivo a cui siamo più abituati, ma non è automatico.

Con *ignorare caratteri* si intende che il programma, dopo aver letto un carattere, controlli che questo sia del tipo atteso: se lo è ne fa eco o comunque risponde in modo interattivo, se non lo è ritorna in lettura di un altro carattere, mostrandosi all'utente come se avesse, appunto, ignorato il carattere precedente.

4.2 Caratteri speciali

Avanzamento linea (*line feed*, LF): carattere `\n`, codifica `0x0A`.

Ritorno carrello (*carriage return*, RF): carattere `\r`, codifica `0x0D`.

Il significato di questi ha a che vedere con le macchine da scrivere, dove *avanzare alla riga successiva* e *riportare il carrello a sinistra* erano azioni ben distinte.

4.3 Sottoprogrammi

Nome	Comportamento
<code>inchar</code>	Legge da tastiera un carattere ASCII e ne scrive la codifica in <code>%a\</code> . Non mostra a terminale il carattere letto.
<code>outchar</code>	Legge la codifica di un carattere ASCII dal registro <code>%a\</code> e lo mostra a terminale.
<code>inbyte</code> / <code>inword</code> / <code>inlong</code>	Legge dalla tastiera 2/4/8 cifre esadecimali (0-9 e A-F), facendone eco e ignorando altri caratteri. Salva quindi il byte/word/long corrispondente a tali cifre in <code>%a\</code> / <code>%ax</code> / <code>%eax</code> .
<code>outbyte</code> / <code>outword</code> / <code>outlong</code>	Legge il contenuto di <code>%a\</code> / <code>%ax</code> / <code>%eax</code> e lo mostra a terminale sotto forma di 2/4/8 cifre esadecimali.
<code>indecimal_byte</code> / <code>indecimal_word</code> / <code>indecimal_long</code>	Legge dalla tastiera fino a 3/5/10 cifre decimali (0-9), o finché non è inserito un <code>\r</code> , facendone eco e ignorando altri caratteri. Interpreta queste come cifre di un numero naturale, e salva quindi il byte/word/long corrispondente in <code>%a\</code> / <code>%ax</code> / <code>%eax</code> .
<code>outdecimal_byte</code> / <code>outdecimal_word</code> / <code>outdecimal_long</code>	Legge il contenuto di <code>%a\</code> / <code>%ax</code> / <code>%eax</code> , lo interpreta come numero naturale e lo mostra a terminale sotto forma di cifre decimali.
<code>outmess</code>	Dato l'indirizzo <code>v</code> in <code>%ebx</code> e il numero <code>n</code> in <code>%cx</code> , mostra a terminale gli <code>n</code> caratteri ASCII memorizzati a partire da <code>v</code> .

outline	Dato l'indirizzo v in %ebx, mostra a terminale i caratteri ASCII memorizzati a partire da v finché non incontra un \r o raggiunge il massimo di 80 caratteri.
inline	Dato l'indirizzo v in %ebx e il numero n in %cx, legge da tastiera caratteri ASCII e li scrive a partire da v finché non è inserito un \r o raggiunge il massimo di $n - 2$ caratteri. Pone poi in fondo i caratteri \r\n. Supporta l'uso di backspace per correggere l'input.
newline	Porta l'output del terminale a una nuova riga, mostrando i caratteri \r\n.

5. Debugger gdb

`gdb` è un debugger a linea di comando che ci permette di eseguire un programma passo passo, seguendo lo stato del processore e della memoria.

Il concetto fondamentale per un debugger è quello di *breakpoint*, ossia un punto del codice dove l'esecuzione dovrà fermarsi. I breakpoints ci permettono di eseguire rapidamente le parti del programma che non sono di interesse e fermarsi a osservare solo le parti che ci interessano.

Quella che segue è comunque una presentazione sintetica e semplificata. Per altre opzioni e funzionalità del debugger, vedere la documentazione ufficiale o il comando `help`.

5.1 Controllo dell'esecuzione

Per istruzione corrente si intende *la prossima da eseguire*. Quando il debugger si ferma a un'istruzione, si ferma *prima* di eseguirla.

Nome completo	Nome scorciatoia	Formato	Comportamento
<code>frame</code>	<code>f</code>	<code>f</code>	Mostra l'istruzione corrente.
<code>list</code>	<code>l</code>	<code>l</code>	Mostra il sorgente attorno all'istruzione corrente.
<code>break</code>	<code>b</code>	<code>b label</code>	Imposta un breakpoint alla prima istruzione dopo <i>label</i> .
<code>continue</code>	<code>c</code>	<code>c</code>	Prosegue l'esecuzione del programma fino al prossimo breakpoint.
<code>step</code>	<code>s</code>	<code>s</code>	Esegue l'istruzione corrente, fermandosi immediatamente dopo. Se l'istruzione corrente è una <code>call</code> , l'esecuzione si fermerà alla prima istruzione del sottoprogramma chiamato.
<code>next</code>	<code>n</code>	<code>n</code>	Esegue l'istruzione corrente, fermandosi all'istruzione successiva del sottoprogramma corrente. Se l'istruzione corrente è una <code>call</code> , l'esecuzione si fermerà <i>dopo</i> il <code>ret</code> di del sottoprogramma chiamato. Nota: aggiungere una <code>nop</code> dopo ogni <code>call</code> prima di una nuova <code>label</code> .
<code>finish</code>	<code>fin</code>	<code>fin</code>	Continua l'esecuzione fino all'uscita dal sottoprogramma corrente (<code>ret</code>). L'esecuzione si fermerà alla prima istruzione dopo la <code>call</code> .
<code>run</code>	<code>r</code>	<code>r</code>	Avvia (o riavvia) l'esecuzione del programma. Chiede conferma.
<code>quit</code>	<code>q</code>	<code>q</code>	Esce dal debugger. Chiede conferma.

I seguenti comandi sono *definiti ad hoc nell'ambiente del corso*, e non sono quindi tipici comandi di `gdb`.

Nome completo	Nome scorciatoia	Formato	Comportamento
<code>rrun</code>	<code>rr</code>	<code>rr</code>	Avvia (o riavvia) l'esecuzione del programma, senza chiedere conferma.
<code>qquit</code>	<code>qq</code>	<code>qq</code>	Esce dal debugger, senza chiedere conferma.

Problemi con `next`

Si possono talvolta incontrare problemi con il comportamento di `next`, che derivano da come questa è definita e implementata. Il comando `next` distingue i *frame* come le sequenze di istruzioni che vanno da una `label` alla successiva. Il suo comportamento è, in realtà, di continuare l'esecuzione finché non incontra di nuovo una nuova istruzione nello stesso *frame* di partenza.

Questa logica può essere facilmente rotta con del codice come il seguente, dove *non esiste* una istruzione di `punto_1` che viene incontrata dopo la `call`. Quel che ne consegue è che il comando `next` si comporta come `continue`.

```
punto_1:
...
    call newline
punto_2:
...
```

Per ovviare a questo problema, è una buona abitudine quella di aggiungere una `nop` dopo ciascuna `call`. Tale `nop`, appartenendo allo stesso *frame* `punto_1`, farà regolarmente sospendere l'esecuzione.

```
punto_1:
...
    call newline
    nop
punto_2:
...
```

5.2 Ispezione dei registri

Nome completo	Nome scorciatoia	Formato	Comportamento
info registers	i r	i r	Mostra lo stato di (quasi) tutti i registri. Non mostra separatamente i sotto-registri, come %ax.
info registers	i r	i r reg	Mostra lo stato del registro <i>reg</i> specificato. <i>reg</i> va specificato in minuscolo senza caratteri preposti, per esempio i r eax. Si possono specificare anche sotto-registri, come %ax, e più registri separati da spazio.

`gdb` supporta viste alternative con il comando `layout` che mettono più informazioni a schermo. In particolare, `layout regs` mostra l'equivalente di `i r` e `l`, evidenziando gli elementi che cambiano ad ogni step di esecuzione.

5.3 Ispezione della memoria

Nome completo	Nome scorciatoia	Formato	Comportamento
x	x	x/ <i>NFU addr</i>	Mostra lo stato della memoria a partire dall'indirizzo <i>addr</i> , per le <i>N</i> locazioni di dimensione <i>U</i> e interpretate con il formato <i>F</i> . Comando con memoria, i valori di <i>N</i> , <i>F</i> e <i>U</i> possono essere omessi (insieme allo /) se uguali a prima.

Il comando `x` sta per *examine memory*, ma differenza degli altri non ha una versione estesa.

Il parametro *N* si specifica come un numero intero, il valore di default (all'avvio di `gdb`) è 1.

Il parametro *F* può essere

- `x` per esadecimale
- `d` per decimale
- `c` per ASCII
- `t` per binario
- `s` per stringa delimitata da `0x00`

Il valore di default (all'avvio di `gdb`) è `x`.

Il parametro *U* può essere

- `b` per byte
- `h` per word (2 byte)
- `w` per long (4 byte)

Il valore di default (all'avvio di `gdb`) è `h`.

L'argomento *addr* può essere espresso in diversi modi, sia usando label che registri o espressioni basate su aritmetica dei puntatori. Per esempio:

- letterale esadecimale: `x 0x56559066`
- label: `x &label`
- registro puntatore: `x $esi`
- registro puntatore e registro indice: `x (char*)$esi + $ecx`

Notare che nell'ultimo caso, dato che ci si basa su aritmetica dei puntatori, il tipo all'interno del cast determina la *scala*, ossia la dimensione di ciascuna delle `$ecx` locazioni del vettore da saltare. Si può usare `(char*)` per 1 byte, `(short*)` per 2 byte, `(int*)` per 4 byte.

Un'alternativa a questo è lo scomporre, anche solo temporaneamente, le istruzioni con indirizzamento complesso. Per esempio, si può sostituire `movb (%esi, %ecx), %al` con `lea (%esi, %ecx), %ebx` seguita da `movb (%ebx), %al`, così che si possa eseguire semplicemente `x $ebx` nel debugger.

5.4 Gestione dei breakpoints

Oltre a crearli, i breakpoint possono anche essere rimossi o (dis)abilitati. Questi comandi si basano sulla conoscenza dell' *id* di un breakpoint: questo viene stampato quando un breakpoint viene creato o raggiunto durante l'esecuzione, oppure si possono ristampare tutti usando `info b`.

Nome completo	Nome scorciatoia	Formato	Comportamento
<code>info breakpoints</code>	<code>info b</code>	<code>info b [id]</code>	Stampa informazioni sul breakpoint <i>id</i> , o tutti se l'argomento è omissso.
<code>disable breakpoints</code>	<code>dis</code>	<code>dis [id]</code>	Disabilita il breakpoint <i>id</i> , o tutti se l'argomento è omissso.
<code>enable breakpoints</code>	<code>en</code>	<code>en [id]</code>	Abilita il breakpoint <i>id</i> , o tutti se l'argomento è omissso.
<code>delete breakpoints</code>	<code>d</code>	<code>d [id]</code>	Rimuove il breakpoint <i>id</i> , o tutti se l'argomento è omissso.

Conditional Breakpoints

In alcuni casi, la complessità del programma, l'uso intensivo di sottoprogrammi o lunghi loop possono rendere molto lungo trovare il punto giusto dell'esecuzione. A questo scopo, è possibile definire dei *breakpoint condizionali*, per far sì che l'esecuzione si interrompa a tale breakpoint solo se la condiziona è verificata.

Nome completo	Nome scorciatoia	Formato	Comportamento
<code>condition</code>	<code>cond</code>	<code>cond id cond</code>	Imposta la condizione <i>cond</i> per il breakpoint <i>id</i> .

La sintassi per una condizione è in “stile C”, come il comando `x`. Alcuni esempi di questa sintassi:

- `cond 2 $a1==5` per far sì che l'esecuzione si fermi al breakpoint 2 solo se il registro `a1` contiene il valore 5;
- `cond 2 (short *)$edi== -5` per far sì che l'esecuzione si fermi al breakpoint 2 solo se il registro `edi` contiene l'indirizzo di una word di valore -5;
- `cond 2 (int *)&count!=0` per far sì che l'esecuzione si fermi al breakpoint 2 solo se la locazione di 4 byte a partire da `count` contiene un valore diverso da 0.

Fare attenzione alle conversioni automatiche di rappresentazione: quando si usa la rappresentazione decimale, `gdb` interpreta automaticamente i valori come interi. Una condizione come `cond 2 $a1==128`, per quanto accettata dal debugger, sarà sempre falsa perché la codifica `0x80` è interpretata in decimale come l'intero -128, mai come il naturale 128. È quindi una buona idea usare la notazione esadecimale in casi del genere, cioè quando il bit più significativo è 1.

Una feature disponibile in molti IDE è quello di creare dipendenze tra breakpoint, cioè abilitare un breakpoint solo se è stato prima colpito un altro. Questo però è [fin troppo ostico](#) da fare in `gdb`.

Watchpoints

I watchpoint sono come dei breakpoint ma per dati (registri e memoria), non per il codice. Si creano indicando l'espressione del dato da controllare. Si gestiscono *con gli stessi comandi per i breakpoint*.

Nome completo	Nome scorciatoia	Formato	Comportamento
<code>watchpoint</code>	<code>watch</code>	<code>watch expr</code>	Imposta un watchpoint per l'espressione <i>expr</i> .
<code>info watchpoints</code>	<code>info wat</code>	<code>info wat [id]</code>	Stampa informazioni sul watchpoint <i>id</i> , o tutti se l'argomento è omissso.
<code>disable breakpoints</code>	<code>dis</code>	<code>dis [id]</code>	Disabilita il breakpoint o watchpoint <i>id</i> , o tutti se l'argomento è omissso.
<code>enable breakpoints</code>	<code>en</code>	<code>en [id]</code>	Abilita il breakpoint o watchpoint <i>id</i> , o tutti se l'argomento è omissso.
<code>delete breakpoints</code>	<code>d</code>	<code>d [id]</code>	Rimuove il breakpoint o watchpoint <i>id</i> , o tutti se l'argomento è omissso.

Un watchpoint richiede la specifica di un registro o locazione nella stessa notazione “stile C” del comando `x`, e interrompe l'esecuzione quando tale valore cambia. Per esempio, `watch $eax` crea un watchpoint che interrompe l'esecuzione ogni volta che `eax` cambia valore.

6. Tabella ASCII

Dalla tabella seguente sono esclusi caratteri non stampabili che non sono di nostro interesse.

Codifica binaria	Codifica decimale	Codifica esadecimale	Carattere
0000 0000	00	0x00	\0
0000 1000	08	0x08	backspace
0000 1001	09	0x09	\t, Horizontal Tabulation
0000 1010	10	0x0A	\n, Line Feed
0000 1101	13	0x0D	\r, Carriage Return
0010 0000	32	0x20	space
0010 0001	33	0x21	!
0010 0010	34	0x22	"
0010 0011	35	0x23	#
0010 0100	36	0x24	\$
0010 0101	37	0x25	%
0010 0110	38	0x26	&
0010 0111	39	0x27	'
0010 1000	40	0x28	(
0010 1001	41	0x29)
0010 1010	42	0x2A	*
0010 1011	43	0x2B	+
0010 1100	44	0x2C	,
0010 1101	45	0x2D	-
0010 1110	46	0x2E	.
0010 1111	47	0x2F	/
0011 0000	48	0x30	0
0011 0001	49	0x31	1
0011 0010	50	0x32	2
0011 0011	51	0x33	3
0011 0100	52	0x34	4
0011 0101	53	0x35	5
0011 0110	54	0x36	6
0011 0111	55	0x37	7
0011 1000	56	0x38	8
0011 1001	57	0x39	9
0011 1010	58	0x3A	:
0011 1011	59	0x3B	;
0011 1100	60	0x3C	<
0011 1101	61	0x3D	=
0011 1110	62	0x3E	>
0011 1111	63	0x3F	?
0100 0000	64	0x40	@
0100 0001	65	0x41	A
0100 0010	66	0x42	B
0100 0011	67	0x43	C
0100 0100	68	0x44	D
0100 0101	69	0x45	E
0100 0110	70	0x46	F
0100 0111	71	0x47	G
0100 1000	72	0x48	H
0100 1001	73	0x49	I
0100 1010	74	0x4A	J
0100 1011	75	0x4B	K
0100 1100	76	0x4C	L
0100 1101	77	0x4D	M
0100 1110	78	0x4E	N
0100 1111	79	0x4F	O
0101 0000	80	0x50	P

0101 0001	81	0x51	Q
0101 0010	82	0x52	R
0101 0011	83	0x53	S
0101 0100	84	0x54	T
0101 0101	85	0x55	U
0101 0110	86	0x56	V
0101 0111	87	0x57	W
0101 1000	88	0x58	X
0101 1001	89	0x59	Y
0101 1010	90	0x5A	Z
0101 1011	91	0x5B	[
0101 1100	92	0x5C	\
0101 1101	93	0x5D]
0101 1110	94	0x5E	^
0101 1111	95	0x5F	_
0110 0000	96	0x60	`
0110 0001	97	0x61	a
0110 0010	98	0x62	b
0110 0011	99	0x63	c
0110 0100	100	0x64	d
0110 0101	101	0x65	e
0110 0110	102	0x66	f
0110 0111	103	0x67	g
0110 1000	104	0x68	h
0110 1001	105	0x69	i
0110 1010	106	0x6A	j
0110 1011	107	0x6B	k
0110 1100	108	0x6C	l
0110 1101	109	0x6D	m
0110 1110	110	0x6E	n
0110 1111	111	0x6F	o
0111 0000	112	0x70	p
0111 0001	113	0x71	q
0111 0010	114	0x72	r
0111 0011	115	0x73	s
0111 0100	116	0x74	t
0111 0101	117	0x75	u
0111 0110	118	0x76	v
0111 0111	119	0x77	w
0111 1000	120	0x78	x
0111 1001	121	0x79	y
0111 1010	122	0x7A	z
0111 1011	123	0x7B	{
0111 1100	124	0x7C	
0111 1101	125	0x7D	}
0111 1110	126	0x7E	~

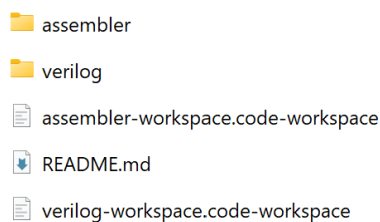
From <https://en.wikipedia.org/wiki/ASCII>

7. Ambiente d'esame e i suoi script

Qui di seguito sono documentati gli script dell'ambiente. I principali sono `assemble.ps1` e `debug.ps1`, il cui uso è mostrato nelle esercitazioni. Gli script `run-test.ps1` e `run-tests.ps1` sono utili per automatizzare i test, il loro uso è del tutto opzionale.

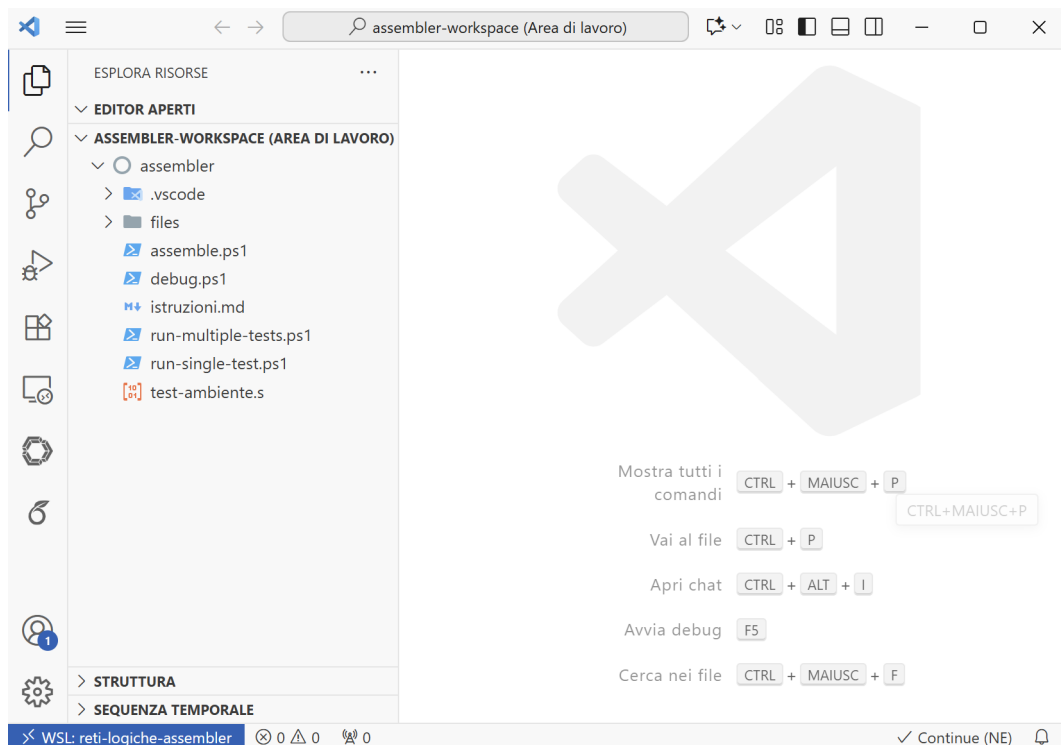
7.1 Aprire l'ambiente

Sulle macchine all'esame (o sulla propria, se si seguono tutti i passi indicati nel pacchetto di installazione) troverete una cartella `C:/reti_logiche` con contenuto come da figura.



Facendo doppio click sul file `assembler-workspace.code-workspace` verrà lanciato VS Code, collegandosi alla macchina virtuale WSL e la cartella di lavoro `C:/reti_logiche/assembler`.

La finestra VS Code che si aprirà sarà simile alla seguente.



Nell'angolo in basso a sinistra, `WSL: reti-logiche-assembler` sta a indicare che l'editor è correttamente connesso alla macchina virtuale.

I file e cartelle mostrati nell'immagine sono quelli che ci si deve aspettare dall'ambiente vuoto.

In caso si trovino file in più all'esame, si possono *cancellare*.

Il file `test-ambiente.s` è un semplice programma per verificare che l'ambiente funzioni. Il contenuto è il seguente:

```
.include "../files/utility.s"

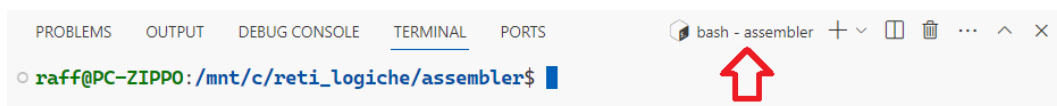
.data
messaggio: .ascii "Ok.\r"

.text
_main:
    nop
    lea messaggio, %ebx
    call outline
    ret
```

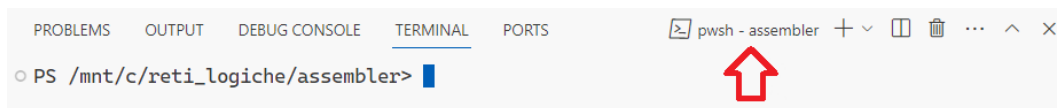
7.2 Il terminale Powershell

Per aprire un terminale in VS Code possiamo usare `Terminale -> Nuovo Terminale`. Per eseguire gli script dell'ambiente c'è bisogno di aprire un terminale *Powershell*. La shell standard di Linux, `bash`, non è in grado di eseguire questi script.

Non così:



Ma così:



Per cambiare shell si può usare il bottone `+` sulla sinistra, o lanciare il comando `pwsh` senza argomenti.

Se si preferisce, in VS Code si può aprire un terminale anche come tab dell'editor, o spostandolo al lato anziché in basso.

Perché Powershell?

Perché Powershell (2006) è object-oriented, e permette di scrivere script leggibili e manutenibili, in modo semplice. Bash (1989) è invece text-oriented, con una [lunga lista di trappole da saper evitare](#).

7.3 Eseguire gli script

Gli script forniti permettono di assemblare, debuggare e testare il proprio programma. È importante che vengano eseguiti senza cambiare cartella, cioè non usando il comando `cd` o simili. Ricordarsi anche dei `./`, necessari per indicare al terminale che i file indicati vanno cercati nella cartella corrente.

Il tasto `tab` della tastiera invoca l'autocompletamento, che aiuta ad assicurarsi di inserire percorsi corretti.

Si ricorda inoltre di salvare il file sorgente prima di provare ad eseguire script.

assemble.ps1

```
PS /mnt/c/reti_logiche/assembler> ./assemble.ps1 mio_programma.s
```

Questo script assembla un sorgente assembler in un file eseguibile. Lo script controlla prima che il file passato non sia un eseguibile, invece che un sorgente. Poi, il sorgente viene assemblato usando gcc ed includendo il sorgente `./files/main.c`, che si occupa di alcune impostazioni del terminale.

debug.ps1

```
PS /mnt/c/reti_logiche/assembler> ./debug.ps1 mio_programma
```

Questo script lancia il debugger per un programma. Lo script controlla prima che il file passato non sia un sorgente, invece che un eseguibile. Poi, il debugger gdb viene lanciato con il programma dato, includendo le definizioni e comandi iniziali in `./files/gdb_startup`. Questi si occupano di definire i comandi `qquit` e `rrun` (non chiedono conferma), creare un breakpoint in `_main` e avviare il programma fino a tale breakpoint (così da saltare il codice di setup di `./files/main.c`).

run-single-test.ps1

```
PS /mnt/c/reti_logiche/assembler> ./run-single-test.ps1 mio_programma input.txt output.txt
```

Lancia un eseguibile usando il contenuto di un file come input, e opzionalmente ne stampa l'output su file. Lo script fa ridirezione di input/output, con alcuni controlli. Tutti i caratteri del file di input verranno visti dal programma come se digitati da tastiera, inclusi i caratteri di fine riga.

run-multiple-tests.ps1

```
PS /mnt/c/reti_logiche/assembler> ./run-multiple-tests.ps1 mio_programma cartella_test
```

Testa un eseguibile su una serie di coppie input-output, verificando che l'output sia quello atteso. Stampa riassuntivamente e per ciascun test se è stato passato o meno.

Lo script prende ciascun file di input, con nome nella forma `in_*.txt`, ed esegue l'eseguibile con tale input. Ne salva poi l'output corrispondente nel file `out_*.txt`. Confronta poi `out_*.txt` e `out_ref_*.txt`: il test è passato se i due file coincidono. Nel confronto, viene ignorata la differenza fra le sequenze di fine riga `\r\n` e `\n`.

8. Problemi comuni

Questa sezione include problemi che è frequente incontrare.

Come regola generale, in sede d'esame rispondiamo a tutte le domande relative a problemi di questo tipo e aiutiamo a proseguire - perché sono relative all'ambiente d'esame e non ai concetti *oggetto* d'esame. Per altre domande, si può sempre contattare per email o Teams.

Attenzione alla versione dell'ambiente

Le informazioni qui riportate sono relative all'ambiente 2025/26. L'ambiente degli anni precedenti ha dettagli diversi.

8.1 Setup dell'ambiente

1. Ho trovato un ambiente assembler per Mac su Github, ma ho problemi ad usarlo

Non abbiamo fatto noi quell'ambiente, non sappiamo come funziona e non offriamo supporto su come usarlo.

2. Ho trovato un ambiente basato su DOS, usato precedentemente all'esame, ma ho problemi ad usarlo

Ha probabilmente incontrato uno dei tanti motivi per cui l'ambiente basato su DOS è stato abbandonato. Questi problemi sono al più *aggirabili*, non *risolvibili*.

3. Lanciando il file `assemble-workspace.code-workspace`, mi appare un messaggio del tipo **Unknown distro: reti-logiche-assembler**

Il file `assemble-workspace.code-workspace` cerca di lanciare via WSL una immagine con lo specifico nome `reti-logiche-assembler`. Il nome dell'immagine si controlla con l'opzione `--name reti-logiche-assembler` del comando `wsl --install`.

Da un terminale Windows, lanciare `wsl --list -v`, dovrete ottenere una stampa del tipo

```
PS C:\Users\raffa> wsl --list -v
  NAME                STATE      VERSION
* reti-logiche-assembler Stopped    2
  Ubuntu-22.04         Stopped    2
  Ubuntu-24.04         Stopped    2
```

La parte importante è la colonna `NAME` dell'immagine che vogliamo usare per l'ambiente assembler.

Nel caso la vostra installazione sia diversa, abbiamo due opzioni, o cambiare il nome dell'immagine, o modificare il file `assemble-workspace.code-workspace`.

Per modificare il nome dell'immagine dopo l'installazione, non c'è purtroppo un semplice comando WSL. Ci sono però metodi con strumenti open source, vedere [qui](#).

Per la seconda opzione, modificare il file `assemble-workspace.code-workspace` con un editor di testo (notepad o VS Code stesso, stando attenti ad aprirlo come file di testo e non come workspace) sostituendo tutte le occorrenze di `wsl+reti-logiche-assembler` con `wsl+NOME-DELLA-DISTRO`. Per esempio, se volessi utilizzare l'immagine `Ubuntu-24.04`, sostituirei con `wsl+Ubuntu-24.04`.

4. Sto utilizzando una sistema Linux desktop, come uso l'ambiente senza virtualizzazione?

Utilizzando direttamente il pacchetto pensato per Linux desktop, e non quello per Windows + WSL. Vedere [qui](#).

8.2 Uso dell'ambiente

5. Se premo *Run* su VS Code non viene lanciato il programma

Non è così che si usa l'ambiente di questo corso. Si deve usare un terminale, assemblare con `./assemble.ps1` programma.s e lanciare con `./programma`.

6. Provando a lanciare `./assemble.ps1` programma.s ricevo un errore del tipo `./assemble.ps1: line 1: syntax error near unexpected token`

State usando la shell da terminale sbagliata, bash invece che pwsh. Aprire un terminale Powershell da VS Code o utilizzare il comando pwsh.

7. Provando ad assemblare ricevo un warning del tipo `warning: creating DT_TEXTREL in a PIE`

Sostituire il file `assemble.ps1` con quello contenuto nel pacchetto più recente tra i file del corso. Oppure modificare manualmente il file, alla riga 29, da

```
gcc -m32 -o ...
```

```
a
```

```
gcc -m32 -no-pie -o ...
```

Riprovare quindi a riassemblare. Se il warning non sparisce, scrivermi. Allegando il sorgente.

8. Provando ad assemblare ricevo un warning del tipo `missing .note.GNU-stack section implies executable stack`

Sostituire il file `assemble.ps1` con quello contenuto nel pacchetto più recente tra i file del corso. Oppure modificare manualmente il file, alla riga 29, da

```
gcc -m32 -no-pie -o ...
```

```
a
```

```
gcc -m32 -no-pie -z execstack -o ...
```

Riprovare quindi a riassemblare. Se il warning non sparisce, scrivermi. Allegando il sorgente.

9. Ho modificato il codice per correggere un errore, ma quando assemblo e eseguo il codice, continuo a vedere lo stesso errore.

Controllare di aver salvato il file. In alto, nella barra delle tab, VS Code mostra un pallino pieno, al posto della X per chiedere la tab, per i file modificati e non salvati.

10. Dove trovo i file che scrivo nell'ambiente assembler?

La cartella assembler mostrata in VS Code corrisponde alla cartella `C:/reti_logiche/assembler` su Windows. Troveremo qui sia i file sorgenti (estensione `.s`) che i binari assemblati.

Windows può nascondere le estensioni dei file

Nella configurazione default, Windows nasconde le estensioni dei file "noti". Suggerisco di cambiare questa configurazione per mostrare sempre l'estensione, come indicato [qui](#).

9. Essere efficienti con VS Code

VS Code è l'editor disponibile in sede d'esame e mostrato a lezione. Come ogni strumento di lavoro, è una buona idea imparare ad usarlo bene per essere più rapidi ed efficaci. Questo si traduce, in genere, nel prendere l'abitudine di usare meno il mouse e più la tastiera, usando le dovute scorciatoie e combinazioni di tasti.

In questa documentazione ci focalizziamo sulle combinazioni per Windows, che sono quelle che troverete all'esame. Evidenzierò con una ☆ le combinazioni più importanti e probabilmente meno note.

Salvare i file

Fra le cause dei vari errori per cui riceviamo richieste d'aiuto, una delle più frequenti è che i file modificati non sono stati salvati. Un file modificato ma non salvato è indicato da un pallino nero nella tab in alto, e le modifiche non saranno visibili a altri programmi come gcc e iverilog.

Si consiglia di salvare spesso e abitualmente, usando `ctrl + s`.

9.1 Le basi elementari


Quando si scrive in un editor, il testo finisce dove sta il cursore (in inglese *caret*). È la barra verticale che indica dove stiamo scrivendo. Si può spostare usando le frecce, non solo destra e sinistra ma anche su e giù. Usando font monospace, infatti, il testo è una matrice di celle delle stesse dimensioni, ed è facile prevedere dove andrà il caret anche mentre ci si sposta tra le righe.

Vediamo quindi le combinazioni più comuni.

	Tasti	Cosa fa
	Tenere premuto shift	Seleziona il testo seguendo il movimento del cursore.
	<code>ctrl + c</code>	Copia il testo selezionato.
	<code>ctrl + v</code>	Incolla il testo selezionato.
	<code>ctrl + x</code>	Taglia (cioè copia e cancella) il testo selezionato.
	<code>ctrl + f</code>	Cerca all'interno del file.
	<code>ctrl + h</code>	Cerca e sostituisce all'interno del file.
☆	<code>ctrl + s</code>	Salva il file corrente.
	<code>ctrl + shift + p</code>	Apre la <i>Command Palette</i> di VS Code.

9.2 Le basi un po' meno elementari

Si può spostare il cursore in modo ben più rapido che un carattere alla volta.

	Tasti	Cosa fa
☆	<code>ctrl + freccia sx o dx</code>	Sposta il cursore di un <i>token</i> (in genere una parola, ma dipende dal contesto).
	<code>home</code> (inizio in italiano, più spesso )	Sposta il cursore all'inizio della riga.
	<code>end</code> (fine in italiano)	Sposta il cursore alla fine della riga.
	<code>ctrl + shift + f</code>	Cerca all'interno della cartella/progetto/...
	<code>ctrl + shift + h</code>	Cerca e sostituisce all'interno della cartella/progetto/...
	<code>alt + freccia su/giù</code>	Sposta la riga corrente (o le righe selezionate) verso l'alto/basso.
☆	<code>ctrl + alt + freccia su/giù</code>	Copia la riga corrente (o le righe selezionate) verso l'alto/basso.

9.3 Editing multi-caret

Normalmente c'è un cursore, e ogni modifica fatta viene applicata dov'è quel *singolo* cursore.

Negli esempi che seguono, userò | per indicare un cursore, e coppie di _ come delimitatori del testo selezionato.

Contenuto dell'editor

Premendo A

```
ContenuA|to dell'editor
```

L'idea del multi-caret è di avere più di un cursore, per modificare più punti del testo allo stesso tempo. Questo è utile se abbiamo più punti del testo con uno stesso *pattern*.

	Tasti	Cosa fa
☆	ctrl + d	Aggiunge un cursore alla fine della prossima occorrenza del testo selezionato.
	esc	Ritorno alla modalità con singolo cursore.

Vediamo un esempio.

```
Prima |riga dell'editor
Seconda riga dell'editor
Terza riga dell'editor
```

Si comincia selezionando del testo.

```
Prima _riga_| dell'editor
Seconda riga dell'editor
Terza riga dell'editor
```

Usiamo ora ctrl + d per mettere un nuovo caret dopo la prossima occorrenza di "riga".

```
Prima _riga_| dell'editor
Seconda _riga_| dell'editor
Terza riga dell'editor
```

Abbiamo ora due caret e se facciamo una modifica verrà fatta in tutti e due i punti. Premendo per esempio e, andremo a sovrascrivere la parola "riga" in entrambi i punti.

```
Prima e| dell'editor
Seconda e| dell'editor
Terza riga dell'editor
```

Entrambi i cursori seguiranno indipendentemente anche gli altri comandi: movimento per caratteri, movimento per token, selezione, copia e incolla.

Per sfruttare questo, conviene scrivere codice secondo pattern in modo da facilitare questo tipo di modifiche. Per esempio, è utile avere cose che vorremmo poi modificare contemporaneamente su righe diverse, in modo da sfruttare home e end in modalità multi-cursore.

Vedremo in particolare come la sintesi di reti sincronizzate diventa molto più semplice se si sfrutta appieno l'editor.