

Reverse Engineering for Beginners

Reverse Engineering per Principianti

(Capire il linguaggio Assembly)

Perchè due titoli? Leggi qua: [on page viii](#).

Dennis Yurichev

[my emails](#)



©2013-2021, Dennis Yurichev.

Questo lavoro è rilasciato sotto licenza Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Per vedere la copia di questa licenza visita il sito <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

Teston (17 ottobre 2021).

L'ultima versione (e l'edizione Russa) del testo sono accessibili al seguente sito: <https://beginners.re/>.

Cerchiamo traduttori!

Puoi aiutare a tradurre questo progetto in linguaggi diversi dall'Inglese ed il Russo. Basta inviarmi un qualsiasi pezzo di testo tradotto (non importa quanto è lungo) e lo aggiungerò al mio codice sorgente scritto in LaTeX.

[Leggi qui](#).

La velocità non è importante, perchè è un progetto Open Source, dopo tutto. Il tuo nome sarà menzionato come Contributore del progetto. Coreano, Cinese e Persiano sono linguaggi riservati ai publisher. Le versioni in Inglese e Russo le traduco da solo, ma il mio Inglese è ancora terribile, quindi vi sono grato ad ogni correzione sulla mia grammatica, ecc... Anche il mio Russo non è ancora perfetto, quindi sono felice di ricevere correzioni anche per il Russo!

Non esitate a contattarmi: [my emails](#).

Sommario

1 Pattern di codice	1
2 Italian text placeholder	281
3	285
4 Java	286
5	297
6 Strumenti	301
7	306
8 Libri/blog da leggere	307
9 Community	310
Afterword	312
Appendice	314
Acronimi utilizzati	321
Glossario	324
Indice analitico	326

Indice

1 Pattern di codice	1
1.1 Il metodo	1
1.2 Alcune basi teoriche	2
1.2.1 Una breve introduzione alla CPU	2
1.2.2 Qualche parola sulle diverse ISA ¹	3
1.2.3 Sistemi di numerazione	4
1.2.4 Convertire da una radice ad un'altra	4
1.3 Una funzione vuota	8
1.3.1 x86	8
1.3.2 ARM	8
1.3.3 MIPS	8
1.3.4 Le funzioni vuote in pratica	9
1.4 Ritornare valori	10
1.4.1 x86	10
1.4.2 ARM	11
1.4.3 MIPS	11
1.5 Hello, world!	12
1.5.1 x86	12
1.5.2 x86-64	20
1.5.3 ARM	24
1.5.4 MIPS	33
1.5.5 Conclusione	39
1.5.6 Esercizi	39
1.6 Prologo ed epilogo delle funzioni	40
1.6.1 Ricorsione	40
1.7 Una Funzione Vuota: redux	40
1.8 Valori di Ritorno: redux	41
1.9 Stack	41
1.9.1 Perché lo stack cresce al contrario?	42
1.9.2 Per cosa viene usato lo stack?	42
1.9.3 Una tipico layout dello stack	51
1.9.4 Rumore nello stack	51
1.9.5 Esercizi	56
1.10 Una funzione quasi vuota	56
1.11 printf() con più argomenti	57
1.11.1 x86	57
1.11.2 ARM	72

¹Instruction Set Architecture

1.11.3 MIPS	80
1.11.4 Conclusione	88
1.11.5 A proposito	89
1.12 scanf()	89
1.12.1 Un semplice esempio	89
1.12.2 Il classico errore	101
1.12.3 Varibili globali	102
1.12.4 scanf()	114
1.12.5 Esercizio	127
1.13 Degno di nota: variabili globali vs locali	128
1.14 Accesso agli argomenti	128
1.14.1 x86	128
1.14.2 x64	131
1.14.3 ARM	135
1.14.4 MIPS	139
1.15 Ulteriori considerazioni sulla restituzione dei risultati	141
1.15.1 Tentativo di utilizzare il risultato di una funzione che restituisce <i>void</i>	141
1.15.2 Che succede se il risultato della funzione non viene usato?	143
1.15.3 Restituire una struttura	143
1.16 Puntatori	145
1.16.1 Ritornare valori	145
1.16.2 Valori di input in Swap	155
1.17 L'operatore GOTO	156
1.17.1 Dead code	159
1.17.2 Esercizio	160
1.18 Jump condizionali	160
1.18.1 Esempio semplice	160
1.18.2 Calcolo del valore assoluto	181
1.18.3 Operatore ternario	184
1.18.4 Ottenere i valori massimo e minimo	188
1.18.5 Conclusione	194
1.18.6 Esercizio	196
1.19 Software cracking	196
1.20 Impossible shutdown practical joke (Windows 7)	198
1.21 switch()/case/default	199
1.21.1 Pochi casi	199
1.21.2 Molti casi	214
1.21.3 Ancora più istruzioni case in un unico blocco	228
1.21.4 Fall-through	233
1.21.5 Esercizi	235
1.22 Cicli	236
1.22.1 Semplice esempio	236
1.22.2 Routine di copia blocchi di memoria	250
1.22.3 Controllo condizione	253
1.22.4 Conclusione	254
1.22.5 Esercizi	257
1.23 Maggiori informazioni sulle stringhe	257
1.23.1 strlen()	257

	v
1.23.2 Delimitazione delle stringhe	271
1.24 Sostituzione di istruzioni aritmetiche con altre	271
1.24.1 Moltiplicazioni	271
1.24.2 Divisioni	278
1.24.3 Esercizio	279
1.25 Array	279
1.25.1	279
1.25.2	279
1.25.3 Esercizi	279
1.26 Strutture	280
1.26.1 UNIX: struct tm	280
1.26.2	280
1.26.3 Esercizi	280
1.27	280
1.27.1	280
2 Italian text placeholder	281
2.1 Endianness	281
2.1.1 Big-endian	281
2.1.2 Little-endian	281
2.1.3 Esempio	282
2.1.4 Bi-endian	282
2.1.5 Converting data	282
2.2 Memoria	283
2.3 CPU	284
2.3.1 Branch predictors	284
2.3.2 Data dependencies	284
3	285
4 Java	286
4.1 Java	286
4.1.1 Introduzione	286
4.1.2 Ritornare un valore	287
4.1.3 Semplici funzioni di calcolo	293
4.1.4	296
4.1.5	296
4.1.6	296
5	297
5.1 Linux	297
5.1.1 LD_PRELOAD hack in Linux	297
5.2 Windows NT	300
5.2.1 Windows SEH	300
6 Strumenti	301
6.1 Analisi di Binari	301
6.1.1 Disassemblers	302
6.1.2 Decompilers	302
6.1.3 Comparazione Patch/diffing	302

	vi
6.2 Analisi live	302
6.2.1 Debuggers	302
6.2.2 Tracciare chiamate alle librerie	303
6.2.3 Tracciare chiamate di sistema	303
6.2.4 Network sniffing	304
6.2.5 Sysinternals	304
6.2.6 Valgrind	304
6.2.7 Emulatori	304
6.3 Altri strumenti	304
6.3.1 Calcolatrici	305
6.4 Manca qualcosa qui?	305
6.5	305
6.6	305
7	306
8 Libri/blog da leggere	307
8.1 Libri ed altro materiale	307
8.1.1 Reverse Engineering	307
8.1.2 Windows	307
8.1.3 C/C++	308
8.1.4 x86 / x86-64	308
8.1.5 ARM	308
8.1.6 Assembly	309
8.1.7 Java	309
8.1.8 UNIX	309
8.1.9 Programmazione in generale	309
8.1.10 Crittografia	309
9 Community	310
Afterword	312
9.1 Domande?	312
Appendice	314
.1 x86	314
.1.1 Terminologia	314
.1.2 npad	314
.2	316
.3 Cheatsheets	316
.3.1 IDA	316
.3.2 OllyDbg	317
.3.3 MSVC	317
.3.4 GDB	318

Acronimi utilizzati	321
Glossario	324
Indice analitico	326

Prefazione

Da cosa derivano i due titoli?

Il libro era chiamato “Reverse Engineering for Beginners” nel periodo 2014-2018, ma ho sempre sospettato che questo restringesse troppo i potenziali lettori.

Nel campo Infosec le persone conoscono il “reverse engineering”, ma raramente ho sentito la parola “assembler” da parte loro.

Similmente, il termine “reverse engineering” è in qualche modo criptico per il resto dei programmatori, ma sanno cos’è l’“assembler”.

A luglio 2018, per esperimento, ho cambiato il titolo in “Assembly Language for Beginners” e postato il link sul sito Hacker News ², ed il libro ha avuto un buon successo.

Quindi è così, il libro adesso ha due titoli.

Tuttavia, ho modificato il secondo titolo in “Understanding Assembly Language”, perché qualcuno aveva già scritto un libro “Assembly Language for Beginners”. Inoltre la gente dice che “for Beginners” sembra un po’ sarcastico per un libro di ~1000 pagine.

I due libri sono differenti solo per il titolo, il nome del file (UAL-XX.pdf versus RE4B-XX.pdf), l’URL ed un paio di pagine iniziali.

Sul reverse engineering

Esistono diversi significati per il termine «[ingegneria inversa](#)»:

- 1) Il reverse engineering del software; riguardo la ricerca su programmi compilati
- 2) La scansione di strutture 3D e la successiva manipolazione digitale necessaria alla loro riproduzione
- 3) Ricare strutture in [DBMS](#)³

Questo libro riguarda il primo significato.

Prerequisiti

Conoscenza di base del C [PL](#)⁴. Letture raccomandate: [8.1.3 on page 308](#).

Esercizi e compiti

...possono essere trovati su: <http://challenges.re>.

²<https://news.ycombinator.com/item?id=17549050>

³Database Management Systems

⁴Linguaggio di programmazione (Programming Language)

Elogi per questo libro

<https://beginners.re/#praise>.

Ringraziamenti

Per aver pazientemente risposto a tutte le mie domande: SkullC0DEr.

Per avermi inviato note riguardo i miei errori e le inaccuratezze: Alexander Lysenko, Federico Ramondino, Mark Wilson, Razikhova Meiramgul Kayratovna, Anatoly Prokofiev, Kostya Begunets, Valentin “netch” Nechayev, Aleksandr Plakhov, Artem Metla, Alexander Yastrebov, Vlad Golovkin⁵, Evgeny Proshin, Alexander Myasnikov, Alexey Tretiakov, Oleg Peskov, Pavel Shakhov, Zhu Ruijin, Changmin Heo, Vitor Vidal, Stijn Crevits, Jean-Gregoire Foulon⁶, Ben L., Etienne Khan, Norbert Szetei⁷, Marc Remy, Michael Hansen, Derk Barten, The Renaissance⁸, Hugo Chan, Emil Mursalimov, Tanner Hoke, Tan90909090@GitHub, Ole Petter Orhagen, Sourav Punoriyar, Vitor Oliveira, Alexis Ehret, Maxim Shlochiski, Greg Paton, Pierrick Lebourgeois, Abdullah Alomair..

Per avermi aiutato in altri modi: Andrew Zubinski, Arnaud Patard (rtp on #debian-arm IRC), noshadow on #gcc IRC, Aliaksandr Autayeu, Mohsen Mostafa Jokar, Peter Sovietov, Misha “tiphareth” Verbitsky.

Per aver tradotto il libro in Cinese Semplificato: Antiy Labs (antiy.cn), Archer.

Per la traduzione Coreana: Byungho Min.

Per la traduzione in Olandese: Cedric Sambre (AKA Midas).

Per la traduzione in Spagnolo: Diego Boy, Luis Alberto Espinosa Calvo, Fernando Guida, Diogo Mussi, Patricio Galdames, Emiliano Estevarena.

Per la traduzione in Portoghese: Thales Stevan de A. Gois, Diogo Mussi, Luiz Filipe, Primo David Santini.

Per la traduzione Italiana: Federico Ramondino⁹, Paolo Stivanin¹⁰, twyK, Fabrizio Bertone, Matteo Sticco, Marco Negro¹¹, bluepulsar.

Per la traduzione in Francese: Florent Besnard¹², Marc Remy¹³, Baudouin Landais, Téo Dacquet¹⁴, BlueSkeye@GitHub¹⁵.

⁵goto-vlad@github

⁶<https://github.com/pixjuan>

⁷<https://github.com/73696e65>

⁸<https://github.com/TheRenaissance>

⁹<https://github.com/pinkrab>

¹⁰<https://github.com/paolostivanin>

¹¹<https://github.com/Internaut401>

¹²<https://github.com/besnardf>

¹³<https://github.com/mremy>

¹⁴<https://github.com/T30rix>

¹⁵<https://github.com/BlueSkeye>

Per la traduzione in Tedesco: Dennis Siekmeier¹⁶, Julius Angres¹⁷, Dirk Loser¹⁸, Clemens Tamme, Philipp Schweinzer.

Per la traduzione in Polacco: Kateryna Rozanova, Aleksander Mistewicz, Wiktoria Lewicka, Marcin Sokołowski.

Per la traduzione in Giapponese: shmz@github¹⁹, 4ryuJP@github²⁰.

Per la revisione: Vladimir Botov, Andrei Brazhuk, Mark “Logxen” Cooper, Yuan Jochen Kang, Mal Malakov, Lewis Porter, Jarle Thorsen, Hong Xie.

Vasil Kolev²¹ ha speso una notevole quantità di tempo per la revisione e la correzione di molti errori.

Grazie inoltre a tutti quelli su github.com che hanno contribuito a note e correzioni. Sono stati usati molti pacchetti \LaTeX : vorrei ringraziare tutti gli autori di tali moduli.

Donatori

Tutti quelli che mi hanno supportato durante il tempo in cui ho scritto la parte più significativa del libro:

2 * Oleg Vygovsky (50+100 UAH), Daniel Bilar (\$50), James Truscott (\$4.5), Luis Rocha (\$63), Joris van de Vis (\$127), Richard S Shultz (\$20), Jang Minchang (\$20), Shade Atlas (5 AUD), Yao Xiao (\$10), Pawel Szczur (40 CHF), Justin Simms (\$20), Shawn the Rock (\$27), Ki Chan Ahn (\$50), Triop AB (100 SEK), Ange Albertini (€10+50), Sergey Lukianov (300 RUR), Ludvig Gislason (200 SEK), Gérard Labadie (€40), Sergey Volchkov (10 AUD), Vankayala Vigneswararao (\$50), Philippe Teuwen (\$4), Martin Haeberli (\$10), Victor Cazacov (€5), Tobias Sturzenegger (10 CHF), Sonny Thai (\$15), Bayna AlZaabi (\$75), Redfive B.V. (€25), Joona Oskari Heikkilä (€5), Marshall Bishop (\$50), Nicolas Werner (€12), Jeremy Brown (\$100), Alexandre Borges (\$25), Vladimir Dikovski (€50), Jiarui Hong (100.00 SEK), Jim Di (500 RUR), Tan Vincent (\$30), Sri Harsha Kandrakota (10 AUD), Pillay Harish (10 SGD), Timur Valiev (230 RUR), Carlos Garcia Prado (€10), Salikov Alexander (500 RUR), Oliver Whitehouse (30 GBP), Katy Moe (\$14), Maxim Dyakonov (\$3), Sebastian Aguilera (€20), Hans-Martin Münch (€15), Jarle Thorsen (100 NOK), Vitaly Osipov (\$100), Yuri Romanov (1000 RUR), Aliaksandr Autayeu (€10), Tudor Azoitei (\$40), Zovsky (€10), Yu Dai (\$10), Anonymous (\$15), Vladislav Chelnokov (\$25), Nenad Noveljic (\$50), Ryan Smith (\$25), Andreas Schommer (€5), Nikolay Gavrilov (\$300), Ernesto Bonev Reynoso (\$30).

Grazie di cuore a tutti i donatori!

mini-FAQ

Q: Quali sono i prerequisiti per leggere questo libro?

¹⁶<https://github.com/DSiekmeier>

¹⁷<https://github.com/JAngres>

¹⁸<https://github.com/PolymathMonkey>

¹⁹<https://github.com/shmz>

²⁰<https://github.com/4ryuJP>

²¹<https://vasil.ludost.net/>

A: È consigliato avere almeno una conoscenza base di C/C++.

Q: Dovrei veramente imparare x86/x64/ARM e MIPS allo stesso tempo? Non è troppo?

A: Chi inizia può leggere semplicemente su x86/x64, e saltare o sfogliare velocemente le parti su ARM e MIPS.

Q: Posso acquistare la versione in Russo/Inglese del libro?

A: Sfortunatamente no, nessun editore (al momento) è interessato nel pubblicare questo libro. Nel frattempo puoi chiedere alla tua copisteria di fiducia di stamparlo. https://yurichev.com/news/20200222_printed_RE4B/.

Q: C'è una versione EPUB/MOBI?

A: Il libro dipende fortemente da alcuni hacks in TeX/LaTeX, quindi convertire il tutto in HTML (EPUB/MOBI è un set di HTMLs) non sarebbe facile.

Q: Perché qualcuno dovrebbe studiare assembly al giorno d'oggi?

A: A meno che tu non sia uno sviluppatore di **sistemi operativi**²², probabilmente non avrai mai bisogno di scrivere codice assembly —i compilatori moderni sono migliori dell'uomo nell'effettuare ottimizzazioni²³.

Inoltre, le CPU²⁴ moderne sono dispositivi molto complessi e la semplice conoscenza di assembly non basta per capire il loro funzionamento interno.

Ci sono però almeno due aree in cui una buona conoscenza di assembly può tornare utile: analisi malware/ricercatore in ambito sicurezza e per avere una miglior comprensione del codice compilato durante il debugging di un programma. Questo libro è perciò pensato per quelle persone che vogliono capire il linguaggio assembly piuttosto che imparare a programmare con esso.

Q: Ho cliccato su un link all'interno del PDF, come torno indietro?

A: In Adobe Acrobat Reader clicca Alt+FrecciaSinistra. In Evince clicca il pulsante "<".

Q: Posso stampare questo libro / usarlo per insegnare?

A: Certamente! Il libro è rilasciato sotto licenza Creative Commons (CC BY-SA 4.0).

Q: Perché questo libro è gratis? Hai svolto un ottimo lavoro. È sospetto come molte altre cose gratis.

A: Per mia esperienza, gli autori di libri tecnici fanno queste cose per auto-pubblicizzarsi. Non è possibile ottenere un buon ricavato da un lavoro così oneroso.

Q: Come si fa ad ottenere un lavoro nel campo del reverse engineering?

A: Ci sono threads di assunzione che appaiono di tanto in tanto su reddit RE²⁵. Prova a guardare lì.

Qualcosa di simile si può anche trovare nel subreddit «netsec».

²²**sistemi operativi!**

²³Un testo consigliato relativamente a questo argomento: [Agner Fog, *The microarchitecture of Intel, AMD and VIA CPUs*, (2016)]

²⁴Central Processing Unit

²⁵reddit.com/r/ReverseEngineering/

Q: Avrei una domanda...

A: Inviamela tramite e-mail ([my emails](#)).

La traduzione in Coreano

A gennaio 2015, la Acorn publishing company (www.acornpub.co.kr) in Corea del Sud ha compiuto un enorme lavoro traducendo e pubblicando questo libro (aggiornato ad agosto 2014) in Coreano.

Adesso è disponibile sul [loro sito](#).

Il traduttore è Byungho Min ([twitter/tais9](#)). La copertina è stata creata dall'artistico Andy Nechaevsky, un amico dell'autore: [facebook/andydinka](#). Acorn detiene inoltre i diritti della traduzione in Coreano.

Quindi se vuoi un vero libro in Coreano nella tua libreria e vuoi supportare questo lavoro, è disponibile per l'acquisto.

La traduzione in Persiano/Farsi

Nel 2016 il libro è stato tradotto da Mohsen Mostafa Jokar (che è anche conosciuto nell comunità iraniana per la traduzione del manuale di Radare ²⁶). Potete trovarlo sul sito dell'editore²⁷ (Pendare Pars).

Qua c'è il link ad un estratto di 40 pagine: <https://beginners.re/farsi.pdf>.

Informazioni nella Libreria Nazionale dell'Iran: <http://opac.nlai.ir/opac-prod/bibliographic/4473995>.

La traduzione Cinese

Ad aprile 2017, la traduzione in Cinese è stata completata da Chinese PTPress. Possiedono inoltre i diritti della traduzione in Cinese.

La versione cinese può essere ordinata a questo indirizzo: <http://www.epubit.com.cn/book/details/4174>. Una recensione parziale, con informazioni sulla traduzione è disponibile qua: <http://www.cptoday.cn/news/detail/3155>.

Il traduttore principale è Archer, al quale l'autore deve molto. E' stato estremamente meticoloso (in senso buono) ed ha segnalato buona parte degli errori e bug, il che è molto importante in un libro come questo. L'autore raccomanderebbe i suoi servizi a qualsiasi altro autore!

I ragazzi di [Antiy Labs](#) hanno inoltre aiutato nella traduzione. [Qua c'è la prefazione](#) scritta da loro.

²⁶<http://rada.re/get/radare2book-persian.pdf>

²⁷<http://goo.gl/2Tzx0H>

Capitolo 1

Pattern di codice

1.1 Il metodo

Quando l'autore di questo libro ha cominciato ad imparare il C e, successivamente, C++, era solito scrivere piccoli pezzi di codice, compilarli e guardare l'output prodotto in linguaggio assembly. Questo procedimento ha facilitato la comprensione del comportamento del codice che aveva scritto.¹ Lo ha fatto talmente tante volte che la relazione tra il codice C/C++ e ciò che viene prodotto dal compilatore si è impressa profondamente nella sua mente. E' facile immaginare a colpo d'occhio un contorno della forma e della funzione di un dato codice C. Magari questa tecnica può rivelarsi utile anche per gli altri.

Ad ogni modo, esiste un utile sito in cui puoi fare lo stesso, con diversi compilatori, invece di installarli sul tuo PC. Puoi usarlo a questo indirizzo: <https://godbolt.org/>.

Esercizi

Quando l'autore di questo libro studiava il linguaggio assembly, era solito anche compilare piccole funzioni C e riscriverle gradualmente in assembly tentando di restringere il codice il più possibile. Questa pratica è oggi probabilmente inutile in uno scenario reale, in quanto è molto difficile competere, in termini di efficienza, con i moderni compilatori. Rappresenta comunque un ottimo modo di acquisire una migliore conoscenza dell'assembly. Sentitevi quindi liberi di prendere qualunque pezzo di codice assembly da questo libro e cercare di renderlo più piccolo. Tuttavia non dimenticate di testare il vostro risultato.

¹In effetti lo fa ancora oggi quando non riesce a capire cosa fa un particolare pezzo di codice.

Livelli di ottimizzazione e informazioni di debug

Il codice sorgente può essere compilato da compilatori diversi e con vari livelli di ottimizzazione. Un compilatore tipico ne prevede solitamente tre, dei quali il livello zero corrisponde a nessuna ottimizzazione (ottimizzazione disabilitata).

L'ottimizzazione può essere orientata verso la dimensione del codice o la sua velocità di esecuzione. Un compilatore non ottimizzante è più veloce e produce codice più comprensibile (sebbene prolisso), mentre un compilatore ottimizzante è più lento e cerca di produrre codice più veloce in termini di performance (ma non necessariamente più compatto). Oltre ai livelli di ottimizzazione, un compilatore può includere informazioni di debug nel file risultante, producendo quindi codice che può essere debuggato più facilmente. Una delle caratteristiche più importanti del codice di 'debug' è che può contenere collegamenti tra ogni riga del codice sorgente e l'indirizzo del corrispondente codice macchina. I compilatori ottimizzanti tendono invece a produrre output in cui intere righe di codice sorgente possono essere ottimizzate a tal punto da non essere neanche presenti nel codice macchina risultante. I reverse engineers possono incontrare entrambe le versioni, semplicemente perché alcuni sviluppatori utilizzano le opzioni di ottimizzazione dei compilatori ed altri no. A causa di ciò negli esempi proveremo, quando possibile, a lavorare sia sulle versioni di debug che su quelle di release del codice illustrato in questo libro.

A volte in questo libro vengono utilizzate delle versioni di compilatori particolarmente vecchie, in modo da ottenere il più corto (o semplice) blocco di codice.

1.2 Alcune basi teoriche

1.2.1 Una breve introduzione alla CPU

La **CPU** è il dispositivo che esegue il codice macchina di cui è fatto un programma.

Un breve glossario:

Istruzione : Una primitiva per la **CPU**. L'esempio più semplice include: spostare dati da un registro all'altro, lavorare con la memoria, effettuare operazioni aritmetiche primitive. Di norma ogni **CPU** ha il suo insieme di istruzioni, detto instruction set architecture o (**ISA**).

Codice macchina : Codice che la **CPU** è in grado di processare direttamente. Ciascuna istruzione è solitamente codificata da diversi byte.

Linguaggio Assembly : Codice mnemonico ed alcune estensioni come le macro introdotti per facilitare la vita del programmatore.

Registro CPU : Ogni **CPU** ha un certo numero definito di registri generici (**GPR**²). ≈ 8 in x86, ≈ 16 in x86-64, ≈ 16 in ARM. Il modo più semplice per capire con'è un registro è quello di pensare ad esso come una variabile temporanea senza tipo. Immagina se stessi lavorando con un linguaggio di programmazione di alto livello **PL** e potessi usare solo otto variabili a 32 (o 64) bit.

²General Purpose Registers

Anche solo con quelle potresti fare molte cose!

Qualcuno potrebbe chiedersi perchè ci debba essere una differenza tra il codice macchina ed un **PL**. La risposta risiede nel fatto che gli umani e i processori (**CPU**) non sono uguali—per un umano è molto più facile utilizzare un linguaggio di programmazione ad alto livello come C/C++, Java, Python, etc., mentre per una **CPU** è più semplice utilizzare un livello di astrazione più basso. Potrebbe essere forse possibile inventare una **CPU** in grado di eseguire codice di un **PL** ad alto livello, ma sarebbe molto più complessa dei processori che conosciamo oggi. Allo stesso modo sarebbe del tutto sconsigliato per gli umani scrivere in linguaggio assembly, a causa della sua natura di basso livello e la difficoltà nello scrivere senza commettere un enorme numero di fastidiosi errori. Il programma che converte il codice di un **PL** di alto livello in assembly è detto un *compilatore*.³

1.2.2 Qualche parola sulle diverse **ISA**

La **ISA** dell'architettura x86 ha sempre avuto istruzioni di lunghezza variabile, e all'arrivo dell'era 64-bit l'estensione x64 non ha avuto impatti significativi sulla **ISA**. Di fatto l'architettura x86 contiene molte istruzioni apparse per la prima volta nelle CPU a 16-bit 8086 e che si trovano ancora nei processori odierni. ARM è una **CPU RISC**⁴ progettata per avere istruzioni di lunghezza costante, che in passato avevano alcuni vantaggi. Originariamente tutte le istruzioni ARM erano codificate in 4 byte⁵. Oggi questa modalità è nota come «ARM mode». Successivamente si scoprì che non era poi tanto economico come si immaginava inizialmente. Infatti, le istruzioni **CPU** più usate⁶ nelle applicazioni reali, possono essere codificate usando meno informazioni. Venne quindi aggiunta un'altra **ISA**, detta Thumb, in cui ogni istruzione era codificata in solo 2 byte. Oggi detto «Thumb mode». Tuttavia non *tutte* le istruzioni ARM possono essere codificate in solo 2 byte, quindi il set di istruzioni Thumb è quindi in qualche modo limitato. Vale la pena notare che il codice compilato in ARM mode e Thumb mode può tranquillamente coesistere all'interno dello stesso programma. I creatori di ARM pensarono di estendere Thumb, dando vita a Thumb-2, apparso per la prima volta in ARMv7. Thumb-2 utilizza ancora istruzioni da 2 byte, ma ha alcune nuove istruzioni da 4 byte. Esiste la convinzione errata che Thumb-2 sia un mix di ARM e Thumb. Questo non è vero. Piuttosto Thumb-2 è stato esteso per supportare tutte le caratteristiche del processore così da competere con l'ARM mode— un obiettivo che è stato chiaramente raggiunto, visto che la maggior parte delle applicazioni per iPod/iPhone/iPad sono compilate per il set di istruzioni Thumb-2 (in effetti, molto probabilmente dovuto anche al fatto che Xcode lo fa di default). Successivamente fu la volta di ARM a 64-bit. Questa **ISA** ha opcode di 4-byte, e non necessita di alcun Thumb mode aggiuntivo. Tuttavia i requisiti dei 64-bit hanno avuto un impatto sulla **ISA**, motivo per cui abbiamo oggi tre set di istruzioni ARM: ARM mode, Thumb mode (incluso Thumb-2) e ARM64. Queste **ISA** sono parzialmente simili, ma possiamo dire che si tratta di **ISA** differenti invece che varianti della stessa. Per questo motivo in questo libro cercheremo di aggiungere frammenti di codice in tutte e tre

³La vecchia letteratura russa in materia utilizza il termine «traduttore».

⁴Reduced Instruction Set Computing

⁵Le istruzioni a lunghezza fissa sono utili perchè è possibile calcolare senza sforzo l'indirizzo della prossima (o della precedente) istruzione. Questa caratteristica sarà discussa nella sezione dedicata all'operatore `switch()` operator (1.21.2 on page 221).

⁶Che sono MOV/PUSH/CALL/jcc

le ISA ARM. A proposito, esistono anche molte altre ISAs di tipo RISC che utilizzano istruzioni con lunghezza fissa di 32-bit, ad esempio: MIPS, PowerPC e Alpha AXP.

1.2.3 Sistemi di numerazione

Nowadays octal numbers seem to be used for exactly one purpose—file permissions on POSIX systems—but hexadecimal numbers are widely used to emphasize the bit pattern of a number over its numeric value.

Alan A. A. Donovan, Brian W. Kernighan —
The Go Programming Language

Le persone si sono abituate ad usare il sistema numerico decimale probabilmente perchè quasi tutti hanno 10 dita. Ciononostante, il numero «10» non ha alcun significato rilevante nelle scienze e nella matematica. Il sistema di numerazione naturale nell'elettronica digitale è quello binario: 0 per l'assenza di corrente nel filo e 1 per la sua presenza. 10 in binario è 2 in decimale, 100 in binary è 4 in decimale, e così via.

Se il sistema numerico ha 10 cifre, ha una *radice* (o *base*) di 10. Il sistema numerico binario ha *radice* 2.

Cose importanti da ricordare:

- 1) Un *numero* è un numero, mentre una *cifra* è un termine che deriva dai sistemi di scrittura, ed è solitamente un carattere
- 2) Il valore di un numero non cambia quando viene convertito ad un'altra radice; cambia solo la forma di scrittura del suo valore (e quindi il modo in cui viene rappresentato in RAM⁷).

1.2.4 Convertire da una radice ad un'altra

La notazione posizionale è usata in praticamente tutti i sistemi numerici. Questo significa che la cifra ha un "peso" diverso in base alla posizione in cui si trova all'interno del numero più grande. Se 2 si trova nella parte più a destra del numero, è 2, ma se si trova nella penultima posizione a destra è 20.

Per cosa sta 1234?

$$10^3 \cdot 1 + 10^2 \cdot 2 + 10^1 \cdot 3 + 1 \cdot 4 = 1234 \text{ o anche } 1000 \cdot 1 + 100 \cdot 2 + 10 \cdot 3 + 4 = 1234$$

Lo stesso vale per i numeri binari, ma la base è 2 invece di 10. Per cosa sta 0b101011?

$$2^5 \cdot 1 + 2^4 \cdot 0 + 2^3 \cdot 1 + 2^2 \cdot 0 + 2^1 \cdot 1 + 2^0 \cdot 1 = 43 \text{ o anche } 32 \cdot 1 + 16 \cdot 0 + 8 \cdot 1 + 4 \cdot 0 + 2 \cdot 1 + 1 = 43$$

Esiste anche una notazione non-posizionale, come ad esempio il sistema numerico Romano.⁸ Forse l'umanità ha deciso di passare alla notazione posizionale perchè è più facile effettuare operazioni di base (addizione, moltiplicazione, etc.) a mano su carta.

⁷Random-Access Memory

⁸Riguardo l'evoluzione dei sistemi numerici, vedi [Donald E. Knuth, *The Art of Computer Programming*, Volume 2, 3rd ed., (1997), 195-213.]

I numeri binari possono essere addizionati, sottratti e così via, nello stesso modo in cui ci è stato insegnato a scuola, con l'unica differenza che si sono solo 2 cifre a disposizione.

I numeri binari possono risultare ingombranti quando usati in codici sorgenti e dump, ed in questi casi può tornare utile il sistema esadecimale.

Il sistema esadecimale usa le cifre 0..9 ed in aggiunta 6 caratteri latini: A..F. Ogni cifra esadecimale occupa 4 bit o 4 cifre binarie, ed è quindi molto facile convertire da binario a esadecimale e viceversa, anche a mente.

hexadecimal	binary	decimal
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
A	1010	10
B	1011	11
C	1100	12
D	1101	13
E	1110	14
F	1111	15

Come identificare quale radice si sta usando in un certo caso?

I numeri decimali sono solitamente scritti così come sono, es. 1234. Alcuni assembler consentono di utilizzare un identificatore per i numeri in radice decimale, ed il numero può essere scritto con il suffisso "d": 1234d.

I numeri binari sono a volte preceduti dal prefisso "0b": 0b100110111 ([GCC](#)⁹ ha un'estensione non standard del linguaggio per questo¹⁰). C'è anche un altro modo: utilizzando il suffisso "b", ad esempio: 100110111b. Il libro cerca di usare in modo coerente il prefisso "0b" per identificare i numeri binari.

I numeri esadecimali sono preceduti dal prefisso "0x" in C/C++ e altri [PLs](#): 0x1234ABCD. In alternativa viene utilizzato il suffisso "h": 1234ABCDh. Questo è il modo in cui vengono comunemente rappresentati negli assembler e nei debugger. In questa convenzione, se il numero inizia con una lettera A..F, uno "0" viene aggiunto all'inizio: 0ABCDEFh. C'era inoltre una convenzione popolare durante l'era dei PC ad 8-bit, utilizzando il prefisso \$, ad esempio \$ABCD. Nel corso del libro si cercherà di usare in modo costante il prefisso "0x" per identificare i numeri esadecimali.

⁹GNU Compiler Collection

¹⁰<https://gcc.gnu.org/onlinedocs/gcc/Binary-constants.html>

Si dovrebbe imparare a convertire i numeri a mente? Una tabella di numeri decimali ad una cifra può essere memorizzata facilmente. Per numeri più grandi, probabilmente, non è il caso di tormentarsi.

Probabilmente i numeri esadecimali più visibili sono quelli all'interno degli URL¹¹. Questo è il modo con cui vengono codificati i caratteri non latini. Ad esempio: <https://en.wiktionary.org/wiki/na%C3%AFvet%C3%A9> è l'URL dell'articolo di Wiktionary sulla parola «naïveté».

Sistema di numerazione ottale

Un altro sistema di numerazione molto usato in passato in programmazione è quello ottale. In questo sistema ci sono 8 cifre (0..7) e ciascuna è associata a 3 bit, quindi è facile convertire numeri da una radice all'altra. Praticamente ovunque è stato rimpiazzato dal sistema esadecimale, ma sorprendentemente esiste una utility *NIX usata spesso e da molte persone che ha per argomento un numero ottale: `chmod`.

Come molti utenti *NIX sanno, l'argomento di `chmod` può essere un numero di 3 cifre. La prima rappresenta i diritti del proprietario del file (lettura, scrittura ed esecuzione), la seconda i diritti del gruppo a cui il file appartiene, la terza i diritti per chiunque altro. Ogni cifra che `chmod` riceve può essere rappresentata in forma binaria:

decimale	binario	significato
7	111	rwX
6	110	rw-
5	101	r-X
4	100	r--
3	011	-wX
2	010	-w-
1	001	--X
0	000	---

Quindi ogni bit corrisponde ad un flag: read/write/execute.

La ragione per cui sto parlando di `chmod` è che l'intero numero dell'argomento può essere rappresentato in ottale. Prendiamo per esempio 644. Quando si esegue `chmod 644 file`, si impostano i permessi di lettura/scrittura per il proprietario, il permesso di lettura per il gruppo, ed il permesso di lettura per tutti gli altri. Convertiamo il numero ottale 644 in binario, sarà 110100100, o (in gruppi di 3 bit) 110 100 100.

Possiamo notare che ogni tripletta descrive i permessi per proprietario/gruppo/altri (owner/group/others): il primo è `rw-`, il secondo è `r--` ed il terzo è `r--`.

Il sistema ottale era anche molto diffuso nei vecchi computer come PDP-8, perchè una word poteva essere di 12, 24 o 36 bit, e questi numeri sono tutti divisibili per 3, quindi il sistema ottale era naturale in quell'ambiente. Oggi tutti i computer comuni utilizzano word/indirizzi lunghi 16, 32 o 64 bit, e questi numeri sono tutti divisibili per 4, di conseguenza l'esadecimale risulta più naturale.

¹¹Uniform Resource Locator

Il sistema ottale è supportato da tutti i compilatori C/C++ standard. Talvolta ciò è fonte di confusione, perchè i numeri ottali sono codificati preponendo uno zero, per esempio 0377 è 255. A volte si potrebbe scrivere per errore "09" invece di 9, e il compilatore segnalerebbe un errore. GCC potrebbe presentare un errore del genere: `error: invalid digit "9" in octal constant`.

Inoltre, il sistema ottale è in qualche modo popolare in Java. Quando IDA mostra delle stringhe Java contenenti dei caratteri non visualizzabili, li codifica nel sistema ottale invece che in quello esadecimale. Il decompilatore per Java JAD si comporta allo stesso modo.

Divisibilità

Quando si vede un numero decimale come 120, si può velocemente dedurre che è divisibile per 10, perchè l'ultima cifra è uno zero. Allo stesso modo, 123400 è divisibile per 100 perchè le ultime due cifre sono zeri.

In maniera simile, il numero esadecimale 0x1230 è divisibile per 0x10 (ovvero 16), 0x123000 è divisibile per 0x1000 (ovvero 4096), etc.

Il numero binario 0b1000101000 è divisibile per 0b1000 (8), etc.

Questa proprietà può essere spesso usata per capire velocemente se un indirizzo o la dimensione di un dato blocco di memoria sono stati "allungati" (padded) per raggiungere un certo allineamento. Per esempio, le sezioni in un file PE¹² iniziano quasi sempre ad indirizzi che terminano con 3 zeri esadecimali: 0x41000, 0x10001000, etc. La ragione per cui questo accade risiede nel fatto che quasi tutte le sezioni di un PE sono allineate per raggiungere blocchi di dimensioni multiple di 0x1000 (4096) byte.

Aritmetica e radici a precisione multipla

L'aritmetica a precisione multipla può utilizzare numeri enormi, e ognuno può venire memorizzato in più byte. Ad esempio, le chiavi RSA, sia pubbliche che private, arrivano fino a 4096 bit e più.

In [Donald E. Knuth, *The Art of Computer Programming*, Volume 2, 3rd ed., (1997), 265] possiamo trovare questa idea: quando memorizzi un numero a precisione multipla su più byte, l'intero numero può essere rappresentato utilizzando una radice di $2^8 = 256$, e ogni cifra va nel byte corrispondente. Allo stesso modo, se memorizzi un numero a precisione multipla in diversi valori interi da 32 bit, ogni cifra corrisponde a ciascuno slot da 32 bit, e puoi pensare a questo numero come rappresentato in radice 2^{32} .

Come Pronunciare Numeri non Decimali

I numeri in base non decimale sono tipicamente pronunciati cifra per cifra: "uno-zero-zero-uno-uno-...". Parole come "dieci" e "mille" generalmente non vengono pronunciate, per evitare confusione con il sistema a base decimale.

¹²Portable Executable

Numeri a virgola mobile (Floating point)

Per distinguere i numeri floating point dai numeri interi, vengono generalmente scritti con un “.0” alla fine, ad esempio 0.0, 123.0, etc.

1.3 Una funzione vuota

La funzione più semplice è sicuramente quella che non fa niente:

Listing 1.1: **Italian text placeholder**

```
void f()
{
    return;
};
```

Compiliamola!

1.3.1 x86

Questo è quello che i compilatori GCC e MSVC producono per una piattaforma x86:

Listing 1.2: Con ottimizzazione GCC/MSVC (risultato dell’assembly)

```
f:
    ret
```

C’è solo un’istruzione: RET, la quale ritorna l’esecuzione al [chiamante](#).

1.3.2 ARM

Listing 1.3: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM) risultato dell’assembly

```
f      PROC
      BX      lr
      ENDP
```

L’indirizzo di ritorno non viene salvato nello stack locale nella [ISA ARM](#), ma invece nel registro link, quindi l’istruzione BX LR causa l’esecuzione di un salto (jump) a quell’indirizzo—effettivamente ritornando l’esecuzione al [chiamante](#).

1.3.3 MIPS

Esistono due convenzioni utilizzate nel mondo MIPS quando vengono chiamati i registri: per numero (da \$0 a \$31) o per pseudonimo (\$V0, \$A0, etc.).

L’output in assembly di GCC qua sotto elenca i registri per numero:

Listing 1.4: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (risultato dell’assembly)

```
j      $31
nop
```

...mentre [IDA¹³](#) utilizza gli pseudonimi:

Listing 1.5: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```
j      $ra
nop
```

La prima istruzione è un salto (J or JR) che ritorna il flusso di esecuzione al [chiamante](#), saltando all'indirizzo contenuto nel registro \$31 (o \$RA).

Questo è il registro analogo a [LR¹⁵](#) in ARM.

La seconda istruzione è [NOP¹⁶](#), che non fa niente. Per il momento possiamo ignorarla.

Una nota sulle istruzioni MIPS ed i nomi dei registri

I nomi dei registri e delle istruzioni nel mondo MIPS sono tradizionalmente scritti in minuscolo. Tuttavia, per uniformità, questo libro manterrà l'utilizzo del maiuscolo, che è la convenzione utilizzata in tutti gli altri [ISA](#) mostrati in questo libro.

1.3.4 Le funzioni vuote in pratica

Anche se le funzioni vuote sembrano inutili, sono abbastanza utilizzate nel codice a basso livello.

Prima di tutto, sono abbastanza popolari nelle funzioni per debug, come questa:

Listing 1.6: C/C++ Code

```
void dbg_print (const char *fmt, ...)
{
#ifdef _DEBUG
    // apri file di log
    // scrivi nel file di log
    // chiudi il file di log
#endif
};

void some_function()
{
    ...

    dbg_print ("we did something\n");

    ...
};
```

In una build non di debug (come in una “release”), `_DEBUG` non è definito, quindi la funzione `dbg_print()`, nonostante venga ancora chiamata durante l'esecuzione, sarà vuota.

¹³ [TBT¹⁴](#) by [Hex-Rays](#)

¹⁵ Link Register

¹⁶ No Operation

Similmente, un metodo popolare per la protezione del software è di creare una build per gli acquirenti regolari, ed una build di demo. In una build di demo possono mancare alcune funzionalità importanti, come in questo esempio:

Listing 1.7: C/C++ Code

```
void save_file ()
{
#ifdef DEMO
    // un vero codice di salvataggio
#endif
};
```

La funzione `save_file()` può essere chiamata quando l'utente fa click sul menu File->Salva. La versione demo può essere distribuita con questa voce di menu disattivata, ma anche se un cracker la riattiva, verrà chiamata semplicemente una funzione vuota che non contiene del codice utile.

IDA segnala queste funzioni con dei nomi come `nullsub_00`, `nullsub_01`, etc.

1.4 Ritornare valori

Un'altra funzione semplice è quella che ritorna un valore costante:

Listing 1.8: Italian text placeholder

```
int f()
{
    return 123;
};
```

Compiliamola.

1.4.1 x86

Questo è quello che i compilatori GCC e MSVC producono (con ottimizzazione) per x86:

Listing 1.9: Con ottimizzazione GCC/MSVC (risultato dell'assembly)

```
f:
    mov     eax, 123
    ret
```

Ci sono solo due istruzioni: la prima inserisce il valore 123 nel registro EAX, che per convenzione viene utilizzato per memorizzare i valori di ritorno, e la seconda è RET, che ritorna l'esecuzione al [chiamante](#).

La funzione chiamante troverà quindi il valore di ritorno nel registro EAX.

1.4.2 ARM

Ci sono alcune differenze nella piattaforma ARM:

Listing 1.10: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM) ASM Output

f	PROC	
	MOV	r0,#0x7b ; 123
	BX	lr
	ENDP	

ARM utilizza il registro R0 per ritornare i risultati delle funzioni, quindi 123 viene copiato in R0.

Occorre notare che MOV è un nome di funzione fuorviante sia nella [ISA x86](#) che ARM. I dati non vengono infatti *spostati*, ma *copiati*.

1.4.3 MIPS

L'output in assembly di GCC assembly qua sotto chiama i registri per numero:

Listing 1.11: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (risultato dell'assembly)

j	\$31	
li	\$2,123	# 0x7b

...mentre [IDA](#) utilizza gli pseudonimi:

Listing 1.12: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

jr	\$ra
li	\$v0, 0x7B

Il registro \$2 (o \$V0) viene utilizzato per memorizzare il valore di ritorno della funzione. LI sta per "Load Immediate" ed è l'equivalente MIPS di MOV.

L'altra istruzione è il salto (J or JR) che ritorna il flusso di esecuzione al [chiamante](#).

Potresti domandarti perchè le posizioni delle istruzioni Load Immediate (LI) ed il jump (J or JR) siano invertite. Questo è dovuto ad una funzionalità di [RISC](#) chiamata "branch delay slot".

Il motivo per cui accade è dovuto ad un problema nell'architettura di alcune [ISA RISC](#) e non è importante per i nostri scopi—dobbiamo semplicemente tenere a mente che in MIPS, l'istruzione che segue un jump o un'istruzione condizionale viene eseguita *prima* del salto/ramificazione stessi.

Come conseguenza, le istruzioni di ramificazione vengono sempre scambiate di posto con l'istruzione immediatamente precedente.

In pratica, le funzioni che ritornano semplicemente 1 (*true*) o 0 (*false*) sono molto frequenti.

Le più piccole utility UNIX in assoluto, `/bin/true` e `/bin/false` ritornano 0 ed 1 rispettivamente, come codice di uscita. (Zero come codice di uscita generalmente indica successo, valori diversi da zero indicano errori.)

1.5 Hello, world!

Utilizziamo il famoso esempio dal libro [Brian W. Kernighan, Dennis M. Ritchie, *The C Programming Language*, 2ed, (1988)]:

Listing 1.13: C/C++ Code

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    printf("hello, world\n");
    return 0;
}
```

1.5.1 x86

MSVC

Compiliamolo in MSVC 2010:

```
cl 1.cpp /Fa1.asm
```

(l'opzione /Fa indica al compilatore di generare un file con il listato assembly)

Listing 1.14: MSVC 2010

```
CONST    SEGMENT
$SG3830 DB      'hello, world', 0AH, 00H
CONST    ENDS
PUBLIC   _main
EXTRN    _printf:PROC
; Function compile flags: /Odtp
_TEXT    SEGMENT
_main    PROC
    push    ebp
    mov     ebp, esp
    push    OFFSET $SG3830
    call    _printf
    add     esp, 4
    xor     eax, eax
    pop     ebp
    ret     0
_main    ENDP
_TEXT    ENDS
```

MSVC produce codice assembly in sintassi Intel. La differenza tra le sintassi Intel e AT&T-syntax sarà discussa al [1.5.1 on page 15](#).

Il compilatore ha generato il file, `1.obj`, che deve essere linkato in `1.exe`. Nel nostro caso, il file contiene due segmenti: `CONST` (per i dati costanti) e `_TEXT` (per il codice).

La stringa `hello, world` in C/C++ ha tipo `const char[]` [Bjarne Stroustrup, *The C++ Programming Language*, 4th Edition, (2013)p176, 7.3.2], ma non ha un nome

assegnato. Il compilatore deve in qualche modo aver a che fare con la stringa, e la definisce quindi con il nome interno \$SG3830.

Questo è il motivo per cui l'esempio potrebbe essere riscritto nel modo seguente:

```
#include <stdio.h>

const char $SG3830[]="hello, world\n";

int main()
{
    printf($SG3830);
    return 0;
}
```

Torniamo al listato assembly. Come possiamo vedere, la stringa è terminata con un byte zero, che è lo standard per la terminazione delle stringhe C/C++. Più informazioni sulle stringhe in C/C++: ?? on page ??.

Nel code segment, _TEXT, esiste fino ad ora solo una funzione: main(). La funzione main() inizia con il codice di prologo (prologue code) e termina con il codice di epilogo (epilogue code) (come quasi qualunque funzione) ¹⁷.

Dopo il prologo della funzione, notiamo la chiamata alla funzione printf() : CALL _printf. Prima della chiamata, l'indirizzo della stringa (o un puntatore ad essa) contenente il saluto viene messo sullo stack con l'aiuto dell'istruzione PUSH.

Quando la funzione printf() restituisce il controllo alla funzione main(), l'indirizzo della stringa (o il puntatore) si trova ancora sullo stack. Poiché non ne abbiamo più bisogno, lo [stack pointer](#) (il registro ESP) deve essere corretto.

ADD ESP, 4 significa aggiungi 4 al valore del registro ESP.

Perché 4? Essendo questo un programma a 32-bit, abbiamo esattamente bisogno di 4 bytes per passare un indirizzo attraverso lo stack. Se fosse stato codice x64 ne sarebbero serviti 8. ADD ESP, 4 è a tutti gli effetti equivalente a POP register ma senza usare alcun registro ¹⁸.

Per lo stesso scopo, alcuni compilatori (come l'Intel C++ Compiler) potrebbero emettere l'istruzione POP ECX invece di ADD (ad esempio, questo tipo di pattern può essere osservato nel codice di Oracle RDBMS che è compilato con il compilatore Intel C++). Questa istruzione ha pressoché lo stesso effetto ma il contenuto del registro ECX sarà sovrascritto. Il compilatore Intel C++ usa probabilmente POP ECX poiché l'opcode di questa istruzione è più corto di ADD ESP, x (1 byte per POP contro 3 per ADD).

Ecco un esempio dell'uso di POP al posto di ADD da Oracle RDBMS:

Listing 1.15: Oracle RDBMS 10.2 Linux (Italian text placeholder)

.text:0800029A	push	ebx
.text:0800029B	call	qksfroChild
.text:080002A0	pop	ecx

¹⁷ Maggiori informazioni si trovano nella sezione su prologo ed epilogo delle funzioni (1.6 on page 40).

¹⁸ i flag CPU vengono comunque modificati

Tuttavia, anche MSVC può farlo.

Listing 1.16: MineSweeper da Windows 7 32-bit

.text:0102106F	push	0
.text:01021071	call	ds:time
.text:01021077	pop	ecx

Dopo la chiamata a `printf()`, il codice C/C++ originale contiene la direttiva `return 0` —restituisce 0 come risultato dalla funzione `main()`.

Nel codice generato, questa è implementata dall'istruzione `XOR EAX, EAX`.

`XOR` è infatti semplicemente «eXclusive OR, ovvero OR esclusivo»¹⁹ ma i compilatori lo usano spesso al posto di `MOV EAX, 0`—ancora una volta poichè è un opcode leggermente più corto (2 byte per `XOR` contro 5 per `MOV`).

Alcuni compilatori emettono l'istruzione `SUB EAX, EAX`, che significa *sottrai (SUBtract) il valore nel registro EAX dal valore nel registro EAX*, che, in ogni caso, risulta uguale a zero.

L'ultima istruzione `RET` restituisce il controllo al chiamante ([chiamante](#)). Solitamente, questo è codice C/C++ [CRT](#)²⁰, che, a sua volta, restituisce il controllo all'[OS](#)²¹.

GCC

Proviamo adesso a compilare lo stesso codice C/C++ con il compilatore GCC 4.4.1 su Linux: `gcc 1.c -o 1`. Successivamente, con l'aiuto del disassembler [IDA](#), vediamo come è stata creata la funzione `main()`. [IDA](#), come MSVC, utilizza la sintassi Intel²².

Listing 1.17: codice in [IDA](#)

main	proc near
var_10	= dword ptr -10h
	push ebp
	mov ebp, esp
	and esp, 0FFFFFF0h
	sub esp, 10h
	mov eax, offset aHelloWorld ; "hello, world\n"
	mov [esp+10h+var_10], eax
	call _printf
	mov eax, 0
	leave
	retn
main	endp

¹⁹[wikipedia](#)

²⁰C Runtime library

²¹Sistema Operativo (Operating System)

²²Possiamo anche fare in modo che GCC produca un listato assembly con la sintassi Intel tramite l'opzione `-S -masm=intel`.

Il risultato è pressoché lo stesso. L'indirizzo della stringa `hello, world` (memorizzato nel data segment) è caricato prima nel registro `EAX` e successivamente salvato sullo stack. Inoltre, il prologo della funzione contiene `AND ESP, 0FFFFFFF0h` —questa istruzione allinea il valore del registro `ESP` a 16-byte. Ciò fa sì che tutti i valori sullo stack siano allineati allo stesso modo (la CPU è più efficiente se i valori che tratta sono collocati in memoria ad indirizzi allineati a multipli di 4 o 16 byte).

`SUB ESP, 10h` alloca 16 byte sullo stack. Tuttavia, come vedremo a breve, solo 4 sono necessari in questo caso.

Ciò è dovuto al fatto che la dimensione dello stack allocato è anch'essa allineata a 16 byte.

L'indirizzo della stringa (o un puntatore alla stringa) è quindi memorizzato direttamente sullo stack senza utilizzare l'istruzione `PUSH`. `var_10` — è una variabile locale ed è anche un argomento di `printf()`. Maggiori dettagli in seguito.

Infine viene chiamata la funzione `printf()`.

Diversamente da `MSVC`, quando `GCC` compila senza ottimizzazione emette `MOV EAX, 0` invece di un opcode più breve.

L'ultima istruzione, `LEAVE` —è l'equivalente della coppia di istruzioni `MOV ESP, EBP` e `POP EBP` —in altre parole, questa istruzione riporta indietro lo [stack pointer](#) (`ESP`) e ripristina il registro `EBP` al suo stato iniziale. Ciò è necessario poiché abbiamo modificato i valori di questi registri (`ESP` and `EBP`) all'inizio della funzione (eseguendo `MOV EBP, ESP / AND ESP, ...`).

GCC: Sintassi AT&T

Vediamo come tutto questo può essere rappresentato nella sintassi assembly AT&T. Questa sintassi è molto più popolare nel mondo UNIX.

Listing 1.18: compiliamo in GCC 4.7.3

```
gcc -S 1_1.c
```

Otteniamo questo:

Listing 1.19: GCC 4.7.3

```
.file "1_1.c"
.section .rodata
.LC0:
.string "hello, world\n"
.text
.globl main
.type main, @function
main:
.LFB0:
.cfi_startproc
pushl %ebp
.cfi_def_cfa_offset 8
.cfi_offset 5, -8
movl %esp, %ebp
```

```

.cfi_def_cfa_register 5
andl    $-16, %esp
subl    $16, %esp
movl    $.LC0, (%esp)
call    printf
movl    $0, %eax
leave
.cfi_restore 5
.cfi_def_cfa 4, 4
ret
.cfi_endproc
.LFE0:
.size   main, .-main
.ident  "GCC: (Ubuntu/Linaro 4.7.3-1ubuntu1) 4.7.3"
.section        .note.GNU-stack,"",@progbits

```

Il listato contiene molte macro (iniziano con il punto). Attualmente non ci interessano. Per il momento, è solo per una questione di semplificazione, possiamo ignorarle (fatta eccezione per la macro *.string* che codifica una sequenza di caratteri che termina con il null-byte (zero) proprio come una stringa C). Consideriamo soltanto questo ²³:

Listing 1.20: GCC 4.7.3

```

.LC0:
.string "hello, world\n"
main:
    pushl    %ebp
    movl    %esp, %ebp
    andl    $-16, %esp
    subl    $16, %esp
    movl    $.LC0, (%esp)
    call    printf
    movl    $0, %eax
    leave
    ret

```

Alcune delle differenze maggiori tra la sintassi Intel e quella AT&T sono:

- Gli operandi sorgente e destinazione sono scritti in ordine opposto.

Sintassi Intel: <istruzione> <operando di destinazione> <operando di origine>.

Sintassi AT&T: <istruzione> <operando di origine> <operando di destinazione>.

Ecco un modo facile per memorizzare la differenza: quando si tratta di sintassi Intel immagina che ci sia un segno di uguaglianza (=) tra i due operandi, quando si tratta di sintassi AT&T immagina una freccia da sinistra a destra (→) ²⁴.

²³Questa opzione di GCC può essere usata per eliminare le macro «superflue»: *-fno-asynchronous-unwind-tables*

²⁴A proposito, in alcune funzioni standard C(es., *memcpy()*, *strcpy()*) gli argomenti sono elencati nello stesso modo della sintassi Intel: prima il puntatore al blocco di memoria di destinazione, e poi il puntatore al blocco di memoria di origine.

- AT&T: Il simbolo di percentuale (%) deve essere scritto prima del nome di un registro, e il dollaro (\$) prima dei numeri. Vengono utilizzate le parentesi tonde invece di quelle quadre.
- AT&T: All'istruzione si aggiunge un suffisso che definisce le dimensioni dell'operando:
 - q — quad (64 bit)
 - l — long (32 bit)
 - w — word (16 bit)
 - b — byte (8 bit)

Torniamo al risultato compilato: è identico a quello che abbiamo visto in [IDA](#). Con una piccola differenza: 0FFFFFFF0h è presentato come \$-16. E' la stessa cosa: 16 nel sistema decimale è 0x10 in esadecimale. -0x10 è uguale a 0xFFFFFFFF0 (per un tipo di dato a 32-bit).

Ancora una cosa: il valore di ritorno viene settato a 0 usando MOV, non XOR. MOV semplicemente carica un valore in un registro. Il suo nome è fuorviante (il dato non viene spostato, bensì copiato). In altre architetture questa istruzione è chiamata «LOAD» o «STORE» o qualcosa di simile.

String patching (Win32)

Possiamo facilmente trovare la stringa "hello, world" all'interno del file eseguibile utilizzando Hiew:

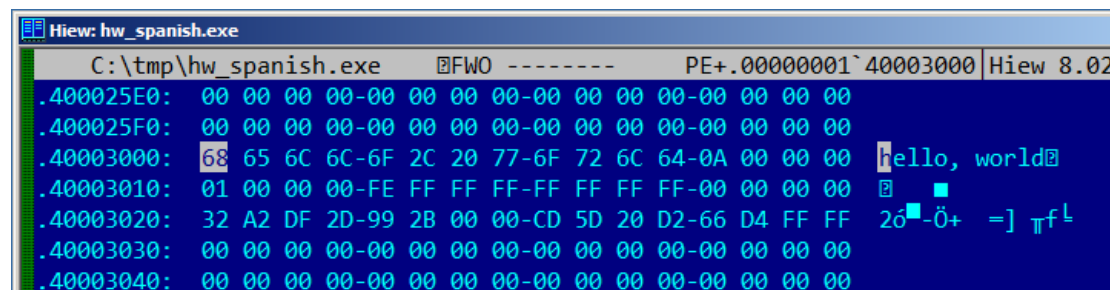


Figura 1.1: Hiew

E possiamo cercare di tradurre il messaggio in spagnolo:

```

Hiew: hw_spanish.exe
C:\tmp\hw_spanish.exe  FWO EDITMODE  PE+ 00000000`0000120D Hiew 8.02
000011E0: 00 00 00 00-00 00 00 00-00 00 00 00-00 00 00 00
000011F0: 00 00 00 00-00 00 00 00-00 00 00 00-00 00 00 00
00001200: 68 6F 6C 61-2C 20 6D 75-6E 64 6F 0A-00 00 00 00 hola, mundo
00001210: 01 00 00 00-FE FF FF FF-FF FF FF FF-00 00 00 00
00001220: 32 A2 DF 2D-99 2B 00 00-CD 5D 20 D2-66 D4 FF FF 2ó-Ö+ =] ff
00001230: 00 00 00 00-00 00 00 00-00 00 00 00-00 00 00 00
00001240: 00 00 00 00-00 00 00 00-00 00 00 00-00 00 00 00

```

Figura 1.2: Hiew

Il testo in spagnolo è più corto di un byte rispetto a quello inglese, quindi abbiamo aggiunto anche il byte 0x0A al fondo (\n) con un byte zero.

Funziona.

E se volessimo inserire un messaggio più lungo? Ci sono alcuni byte a zero dopo il testo in inglese. E' difficile stabilire se possono essere sovrascritti: potrebbero essere utilizzati da qualche parte all'interno del codice CRT, oppure no. Ad ogni modo, sovrascrivili solo se sai esattamente cosa stai facendo.

String patching (Linux x64)

Proviamo a modificare un eseguibile Linux x64 utilizzando rada.re:

Listing 1.21: rada.re session

```

dennis@bigbox ~/tmp % gcc hw.c

dennis@bigbox ~/tmp % radare2 a.out
-- SHALL WE PLAY A GAME?
[0x00400430]> / hello
Searching 5 bytes from 0x00400000 to 0x00601040: 68 65 6c 6c 6f
Searching 5 bytes in [0x400000-0x601040]
hits: 1
0x004005c4 hit0_0 .HHhello, world;0.

[0x00400430]> s 0x004005c4

[0x004005c4]> px
- offset -    0 1  2 3  4 5  6 7  8 9  A B  C D  E F  0123456789ABCDEF
0x004005c4  6865 6c6c 6f2c 2077 6f72 6c64 0000 0000  hello, world....
0x004005d4  011b 033b 3000 0000 0500 0000 1cfe ffff  ...;0.....
0x004005e4  7c00 0000 5cfe ffff 4c00 0000 52ff ffff  |...\...L...R...
0x004005f4  a400 0000 6cff ffff c400 0000 dcff ffff  ....l.....
0x00400604  0c01 0000 1400 0000 0000 0000 017a 5200  ....zR.
0x00400614  0178 1001 1b0c 0708 9001 0710 1400 0000  .x.....
0x00400624  1c00 0000 08fe ffff 2a00 0000 0000 0000  .....*.....
0x00400634  0000 0000 1400 0000 0000 0000 017a 5200  ....zR.
0x00400644  0178 1001 1b0c 0708 9001 0000 2400 0000  .x.....$.

```

```

0x00400654 1c00 0000 98fd ffff 3000 0000 000e 1046 .....0.....F
0x00400664 0e18 4a0f 0b77 0880 003f 1a3b 2a33 2422 ..J..w...?.;*3$"
0x00400674 0000 0000 1c00 0000 4400 0000 a6fe ffff .....D.....
0x00400684 1500 0000 0041 0e10 8602 430d 0650 0c07 .....A....C..P..
0x00400694 0800 0000 4400 0000 6400 0000 a0fe ffff ....D...d.....
0x004006a4 6500 0000 0042 0e10 8f02 420e 188e 0345 e....B....B....E
0x004006b4 0e20 8d04 420e 288c 0548 0e30 8606 480e . ..B.(..H.0..H.

[0x004005c4]> oo+
File a.out reopened in read-write mode

[0x004005c4]> w hola, mundo\x00

[0x004005c4]> q

dennis@bigbox ~/tmp % ./a.out
hola, mundo

```

Questo è il procedimento: ho cercato la stringa «hello» utilizzando il comando `/`, poi ho impostato il *cursore* (*seek*, in *rada.re*) a quell'indirizzo. Poi voglio essere sicuro di essere veramente nel posto giusto: `px` mostra un dump dei dati locali. `oo+` imposta *rada.re* in modalità *read-write*. `w` scrive una stringa ASCII nel *seek* corrente. Nota il `\00` al fondo—è un byte zero. `q` esce (*quit*).

Questa è una vera storia di cracking di software

Un software di processamento immagini, quando non registrato, aggiungeva trame, come “Questa immagine è stata processata da una versione di prova di [nome del software]”, sopra l'immagine. Provando a caso: trovammo la stringa nel file eseguibile e mettemmo degli spazi al suo posto. Le trame scomparirono. Tecnicamente parlando, continuavamo ad essere presenti. Tramite le funzioni Qt, le trame continuavano ad essere aggiunte all'immagine risultante. Ma aggiungendo spazi l'immagine non era alterata...

La traduzione del software all'epoca del MS-DOS

Questo era un metodo comune per tradurre i software per MS-DOS durante gli anni '80 e '90. A volte le parole e le frasi sono leggermente più lunghe rispetto ai corrispettivi in inglese, per questo motivo i software *adattati* hanno molti acronimi strani ed abbreviazioni difficili da comprendere.

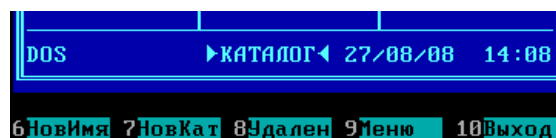


Figura 1.3: Italian text placeholder

Probabilmente questo è successo in molti Paesi durante quel periodo.

1.5.2 x86-64

MSVC: x86-64

Proviamo anche con MSVC a 64-bit:

Listing 1.22: MSVC 2012 x64

```
$SG2989 DB      'hello, world', 0AH, 00H

main      PROC
          sub     rsp, 40
          lea     rcx, OFFSET FLAT:$SG2989
          call    printf
          xor     eax, eax
          add     rsp, 40
          ret     0
main      ENDP
```

In x86-64, tutti i registri sono stati estesi a 64-bit ed il loro nome ha il prefisso R-. Per usare lo stack meno spesso (in altre parole, per accedere meno spesso alla memoria esterna/cache), esiste un metodo molto diffuso per passare gli argomenti delle funzioni tramite i registri (*fastcall*) ?? on page ??. Ovvero, una parte degli argomenti viene passata attraverso i registri, il resto —attraverso lo stack. In Win64, 4 argomenti di funzione sono passati nei registri RCX, RDX, R8, R9. Questo è ciò che vediamo qui: un puntatore alla stringa per `printf()` è adesso passato nel registro RCX anziché tramite lo stack. I puntatori adesso sono a 64-bit, quindi vengono passati nei registri a 64-bit (aventi il prefisso R-). E' comunque possibile, per retrocompatibilità, accedere alle parti a 32-bit, usando il prefisso E-. I registri RAX/EAX/AX/AL in x86-64 appaiono così:

Numero byte							
7°	6°	5°	4°	3°	2°	1°	0
RAX ^{x64}							
				EAX			
						AX	
						AH	AL

La funzione `main()` restituisce un valore di tipo `int`, che in C/C++, per migliore retrocompatibilità e portabilità, resta ancora a 32-bit, motivo per cui il registro EAX (quindi la parte a 32 bit del registro) viene svuotato invece di RAX alla fine della funzione. Ci sono anche 40 byte allocati nello stack locale. Questo spazio è detto «shadow space», e ne parleremo più avanti: [1.14.2 on page 133](#).

GCC: x86-64

Proviamo anche GCC in Linux a 64-bit:

Listing 1.23: GCC 4.4.6 x64

```
.string "hello, world\n"
main:
      sub     rsp, 8
```

```

mov    edi, OFFSET FLAT:.LC0 ; "hello, world\n"
xor     eax, eax ; numero dei registri vettore passati
call   printf
xor     eax, eax
add     rsp, 8
ret

```

Linux, *BSD e Mac OS X usano anche un metodo per passare argomenti di funzione nei registri. [Michael Matz, Jan Hubicka, Andreas Jaeger, Mark Mitchell, *System V Application Binary Interface. AMD64 Architecture Processor Supplement*, (2013)]²⁵.

I primi 6 argomenti sono passati nei registri RDI, RSI, RDX, RCX, R8, R9, ed il resto—tramite lo stack.

Quindi il puntatore alla stringa viene passato in EDI (la parte a 32-bit del registro). Ma perchè non utilizza la parte a 64-bit, RDI?

E' importante ricordare che tutte le istruzioni MOV in modalità 64-bit che scrivono qualcosa nella parte dei 32-bit bassa di un registro, azzerano anche la parte a 32-bit alta (come indicato nei manuali Intel: [8.1.4 on page 308](#)).

Ad esempio, MOV EAX, 011223344h scrive correttamente un valore in RAX, poichè i bit della parte alta verranno azzerati.

Se apriamo il file oggetto compilato (.o), possiamo anche vedere gli opcode di tutte le istruzioni²⁶:

Listing 1.24: GCC 4.4.6 x64

```

.text:00000000004004D0      main  proc near
.text:00000000004004D0 48 83 EC 08      sub    rsp, 8
.text:00000000004004D4 BF E8 05 40 00    mov    edi, offset format ; "hello,
world\n"
.text:00000000004004D9 31 C0           xor     eax, eax
.text:00000000004004DB E8 D8 FE FF FF   call   _printf
.text:00000000004004E0 31 C0           xor     eax, eax
.text:00000000004004E2 48 83 C4 08     add     rsp, 8
.text:00000000004004E6      retn
.text:00000000004004E6      main  endp

```

Come possiamo notare, l'istruzione che scrive in EDI all'indirizzo 0x4004D4 occupa 5 byte. La stessa istruzione che scrive un valore a 64-bit in RDI occupa 7 bytes. Apparentemente, GCC sta cercando di risparmiare un po' di spazio. Inoltre, può essere sicuro che il segmento dati contenente la stringa non sarà allocato ad indirizzi maggiori di 4GiB.

Notiamo anche che il registro EAX è stato azzerato prima della chiamata alla funzione printf(). Questo viene fatto perché, in base allo standard [ABI](#)²⁷ citato in precedenza, il numero dei registri vettore usati deve essere passato in EAX nei sistemi *NIX su x86-64.

²⁵Italian text placeholder<https://software.intel.com/sites/default/files/article/402129/mpx-linux64-abi.pdf>

²⁶Questo deve essere abilitato in **Options** → **Disassembly** → **Number of opcode bytes**

²⁷Application Binary Interface

The screenshot shows the Hiew 8.02 interface with the following details:

- Title Bar:** Hiew: hw2.exe
- Status Bar:** FWO EDITMODE a64 PE+ 00000000`00000404 | Hiew 8.02 (c)SEN
- Assembly View:**

```

00000400: 4883EC28      sub     rsp,028 ; '('
00000404: 488D0DF51F0000 lea     rcx,[000002400]
0000040B: FF15D7100000 call    q,[0000014E8]
00000411: 33C0          xor     eax,eax
00000413: 4883C428      add     rsp,028 ; '('
00000417: C3           retn   ; ^^^^-----
00000418: 4883EC28      sub     rsp,028 ; '('
0000041C: B84D5A0000 mov     eax,000005A4D ; ' ZM'
00000421: 663905D8FFFFFF cmp     [-000000C00],ax
00000428: 7404          jz      0000042E
0000043F: 813850450000 cmp     d,[rax],000004550 ; ' EP'
00000445: 75E3          jnz     0000042A
00000447: B90B020000 mov     ecx,00000020B
0000044C: 66394818      cmp     [rax][018],cx
00000450: 75D8          jnz     0000042A
00000452: 33C9          xor     ecx,ecx
00000454: 83B884000000E cmp     d,[rax][000000084],00E
0000045B: 7609          jbe     00000466
0000045D: 3988F8000000 cmp     [rax][0000000F8],ecx

```
- CommandSelect Dialog:**
 - Text: `lea rcx,[00000000000002401]`
 - Option: ☐ CommandSelect: Off
- Bottom Panel:** A row of numbered tabs from 1 to 11. Tab 4 is labeled "Select".

Figura 1.4: Hiew

Come esperimento, possiamo **incrementare** l'indirizzo di 1:

Hiew mostra «ello, world». E quando lanciamo l'eseguibile modificato, viene stampata proprio questa stringa.

Il file binario che si ottiene compilando il nostro esempio tramite GCC 5.4.0 su Linux x64 contiene molte altre stringhe di testo. Si tratta principalmente di nomi di funzioni e librerie importate.

```
$ objdump -s a.out
```

```
Contents of section .interp:
```

Contents of section .note.ABI-tag:

```
Contents of section .note.gnu.build-id:
```

```

400274 04000000 14000000 03000000 474e5500 .....GNU.
400284 fe461178 5bb710b4 bbf2aca8 5ec1ec10 .F.x[.....^...
400294 cf3f7ae4                .?z.

...

```

Non è un problema passare l'indirizzo della stringa di test «/lib64/ld-linux-x86-64.so.2» a `printf()`:

```

#include <stdio.h>

int main()
{
    printf(0x400238);
    return 0;
}

```

E' difficile da credere, ma questo codice stampa la stringa citata prima.

Se cambiassi l'indirizzo a `0x400260`, verrebbe stampata la stringa «GNU». Questo indirizzo è corretto per la mia specifica versione di GCC, GNU toolset, etc. Sul tuo sistema, l'eseguibile potrebbe essere leggermente differente, e anche tutti gli indirizzi sarebbero differenti. Inoltre, aggiungendo o rimuovendo del codice in/da questo codice sorgente probabilmente sposterebbe tutti gli indirizzi in avanti o indietro.

1.5.3 ARM

Per gli esperimenti con i processori ARM, sono stati utilizzati diversi compilatori:

- Diffuso nel settore embedded: Keil Release 6/2013.
- Apple Xcode 4.6.3 IDE con il compilatore LLVM-GCC 4.2 ²⁸.
- GCC 4.9 (Linaro) (per ARM64), disponibile per win32 su <http://www.linaro.org/projects/armv8/>.

Il codice ARM a 32 bit è utilizzato (incluse le modalità Thumb e Thumb-2) in tutti i casi in questo libro, se non specificato diversamente. Quando parliamo di ARM a 64 bit, lo chiamiamo ARM64.

Senza ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

Iniziamo a compilare il nostro esempio in Keil:

```
armcc.exe --arm --c90 -O0 1.c
```

Il compilatore *armcc* produce un listato assembly con sintassi Intel, e utilizza macro di alto livello legate al processore ARM ²⁹, tuttavia è più importante per noi vedere le istruzioni «così come sono», quindi guardiamo in [IDA](#) il risultato compilato.

²⁸Apple Xcode 4.6.3 utilizza il compilatore open-source GCC come compilatore front-end ed il generatore di codice LLVM

²⁹ad esempio, la modalità ARM è priva delle istruzioni PUSH/POP

Listing 1.25: Senza ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM) [IDA](#)

```

.text:00000000      main
.text:00000000 10 40 2D E9      STMFD     SP!, {R4,LR}
.text:00000004 1E 0E 8F E2      ADR      R0, aHelloWorld ; "hello, world"
.text:00000008 15 19 00 EB      BL      __2printf
.text:0000000C 00 00 A0 E3      MOV      R0, #0
.text:00000010 10 80 BD E8      LDMFD     SP!, {R4,PC}

.text:000001EC 68 65 6C 6C+aHelloWorld DCB "hello, world",0 ; DATA XREF:
main+4

```

Nell'esempio possiamo facilmente vedere che ogni istruzione ha lunghezza pari a 4 byte. Difatti abbiamo compilato il codice per la modalità ARM e non Thumb.

La prima istruzione, `STMFD SP!, {R4,LR}`³⁰, funziona come l'istruzione `PUSH` in x86, scrivendo i valori di due registri (R4 e [LR](#)) nello stack.

Infatti il listato di output prodotto dal compilatore *armcc*, per semplificazione, mostra l'istruzione `PUSH {r4,lr}`. Ma questo non è del tutto esatto. L'istruzione `PUSH` esiste solo in modalità Thumb. Utilizziamo quindi [IDA](#) per non fare confusione.

Questa istruzione dapprima [decrementa](#) il valore di **SP!**³² così da farlo puntare alla porzione dello stack che è libera di ospitare nuovi dati, quindi salva il valore dei registri R4 e [LR](#) all'indirizzo memorizzato nel registro **SP!** appena modificato.

Questa istruzione (esattamente come `PUSH` in Thumb mode) è in grado di salvare il valore di più registri contemporaneamente, cosa che può risultare molto utile. A proposito, non esiste un equivalente in x86. Si può notare anche che l'istruzione `STMFD` è una generalizzazione dell'istruzione `PUSH` (estendendone le sue funzionalità), poiché può funzionare con qualunque registro, e non solo **SP!**. In altre parole, `STMFD` può essere usata per memorizzare un insieme di registri all'indirizzo di memoria specificato.

L'istruzione `ADR R0, aHelloWorld` aggiunge o sottrae il valore del registro **PC!**³³ all'offset in cui è memorizzata la stringa `hello, world`. Ci si potrebbe chiedere, come è utilizzato in questo caso il registro `PC`? Questo viene detto «codice indipendente dalla posizione»³⁴.

Questo tipo di codice può essere eseguito ad un indirizzo non fisso in memoria. In altre parole, si tratta di un indirizzamento relativo a **PC!** (**PC!**-relative addressing). L'istruzione `ADR` tiene conto della differenza tra l'indirizzo di questa istruzione e l'indirizzo dove si trova la stringa. Questa differenza (offset) dovrà sempre essere la stessa, a prescindere dall'indirizzo in cui nostro codice sarà caricato dall'[OS](#). Ciò spiega perché bisogna soltanto aggiungere l'indirizzo dell'istruzione corrente (tramite **PC!**) per ottenere l'indirizzo assoluto in memoria della nostra stringa C.

L'istruzione `BL __2printf`³⁵ chiama la funzione `printf()`. Questa istruzione funziona così:

³⁰[STMFD](#)³¹

³²**SP!**

³³**PC!**

³⁴Maggiori informazioni sono fornite nella relativa sezione ([?? on page ??](#))

³⁵Branch with Link

- memorizza l'indirizzo successivo all'istruzione BL (0xC) nel registro **LR**;
- quindi passa il controllo a `printf()` scrivendo il suo indirizzo nel registro **PC!**.

Quando la funzione `printf()` termina la sua esecuzione, deve sapere a chi restituire il controllo (dove ritornare). Per questo motivo ogni funzione passa il controllo all'indirizzo memorizzato nel registro **LR**.

Questa è una differenza tra processori **RISC** «puri» come ARM e processori **CISC**³⁶ come x86, nei quali il return address viene solitamente memorizzato nello stack. Maggiori informazioni si trovano nella prossima sezione (1.9 on page 41).

A proposito, un indirizzo assoluto o un offset a 32-bit non può essere codificato nell'istruzione a 32-bit BL poichè ha solo spazio per 24 bit. Come potremmo ricordare, tutte le istruzioni in ARM-mode hanno dimensione fissa di 4 byte (32 bit). Dunque possono essere collocate solo su indirizzi allineati su 4-byte. Ciò implica che gli ultimi 2 bit dell'indirizzo dell'istruzione (che sono sempre zero) possono essere omessi. Abbiamo in definitiva 26 bit per la codifica dell'offset (offset encoding). E ciò è sufficiente per codificare $current_PC \pm \approx 32M$.

L'istruzione successiva, `MOV R0, #0`³⁷ scrive semplicemente 0 nel registro R0. Questo perchè la nostra funzione C restituisce 0, ed il valore di ritorno deve essere memorizzato nel registro R0.

L'ultima istruzione `LDMFD SP!, R4, PC`³⁸. Carica valori dallo stack (o qualunque altra zona di memoria) per salvarli nei registri R4 e **PC!**, e incrementa lo **stack pointer SP!**. In questo caso funziona come POP.

N.B. La prima istruzione `STMFD` aveva salvato la coppia di registri R4 e **LR** sullo stack, ma R4 e **PC!** vengono *ripristinati* durante l'esecuzione di `LDMFD`.

Come già sappiamo, l'indirizzo del posto a cui ogni funzione deve restituire il controllo è solitamente memorizzato nel registro **LR**. La prima istruzione salva il suo valore nello stack perchè lo stesso registro sarà utilizzato dalla nostra funzione `main()` per la chiamata a `printf()`. Al termine della funzione, questo valore può essere scritto direttamente nel registro **PC!**, passando di fatto il controllo al punto in cui la nostra funzione era stata chiamata.

Dal momento che `main()` è solitamente la funzione principale in C/C++, il controllo verrà restituito al loader dell' **OS** oppure ad un punto in una **CRT**, o qualcosa del genere.

Tutto questo consente di omettere l'istruzione `BX LR` alla fine della funzione.

DCB è una direttiva assembly che definisce un array di byte o una stringa ASCII, analoga alla direttiva `DB` nel linguaggio assembly x86.

Senza ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)

Compiliamo lo stesso esempio usando Keil in Thumb mode:

```
armcc.exe -thumb -c90 -O0 1.c
```

³⁶Complex Instruction Set Computing

³⁷abbreviazione di MOVE

³⁸`LDMFD`³⁹ è l'istruzione inversa rispetto a `STMFD`

Otteniamo (in [IDA](#)):

Listing 1.26: Senza ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb) + [IDA](#)

```
.text:00000000      main
.text:00000000 10 B5      PUSH    {R4,LR}
.text:00000002 C0 A0      ADR     R0, aHelloWorld ; "hello, world"
.text:00000004 06 F0 2E F9  BL     __2printf
.text:00000008 00 20      MOVS    R0, #0
.text:0000000A 10 BD      POP     {R4,PC}

.text:00000304 68 65 6C 6C+aHelloWorld DCB "hello, world",0 ; DATA XREF:
main+2
```

Possiamo facilmente individuare gli opcode a 2-byte (16-bit). Questo è, come già detto, Thumb. L'istruzione BL, tuttavia, è composta da due istruzioni a 16-bit. Ciò accade perché è impossibile caricare un offset per la funzione printf() usando il poco spazio a disposizione in un opcode a 16-bit. Pertanto la prima istruzione a 16-bit carica i 10 bit alti dell'offset e la seconda istruzione carica gli 11 bit più bassi dell'offset.

Come già detto, tutte le istruzioni in Thumb mode hanno dimensione pari a 2 bytes (o 16 bit). Ciò implica che è impossibile trovare un'istruzione Thumb ad un indirizzo dispari. Per questo motivo, l'ultimo bit dell'indirizzo può essere omesso nell'encoding delle istruzioni.

Per riassumere, l'istruzione Thumb BL può codificare un indirizzo in $current_PC \pm \approx 2M$.

Riguardo le altre istruzioni nella funzione: PUSH e POP qui funzionano come STMFD/LDMFD con l'unica differenza che il registro **SP!** in questo caso non viene menzionato esplicitamente. ADR funziona esattamente come nell'esempio precedente. MOVS scrive 0 nel registro R0 per restituire zero.

Con ottimizzazione Xcode 4.6.3 (LLVM) (Modalità ARM)

Xcode 4.6.3 senza ottimizzazioni produce un sacco di codice ridondante, perciò studieremo l'output ottimizzato in cui le istruzioni sono il meno possibile, settando lo switch del compilatore -O3.

Listing 1.27: Con ottimizzazione Xcode 4.6.3 (LLVM) (Modalità ARM)

```
__text:000028C4      _hello_world
__text:000028C4 80 40 2D E9      STMFD    SP!, {R7,LR}
__text:000028C8 86 06 01 E3      MOV     R0, #0x1686
__text:000028CC 0D 70 A0 E1      MOV     R7, SP
__text:000028D0 00 00 40 E3      MOVT    R0, #0
__text:000028D4 00 00 8F E0      ADD     R0, PC, R0
__text:000028D8 C3 05 00 EB      BL      _puts
__text:000028DC 00 00 A0 E3      MOV     R0, #0
__text:000028E0 80 80 BD E8      LDMFD    SP!, {R7,PC}

__cstring:00003F62 48 65 6C 6C+aHelloWorld_0 DCB "Hello world!",0
```


Le istruzioni STMFD e LDMFD ci sono già familiari.

L'istruzione MOV scrive il numero 0x1686 nel registro R0 . Questo è l'offset che punta alla stringa «Hello world!» .

Il registro R7 (per come standardizzato in [iOS ABI Function Call Guide, (2010)]⁴⁰) è un puntatore di frame (frame pointer). Maggiori informazioni in basso.

L'istruzione MOV^T R0, #0 (MOVE Top) scrive 0 nei 16 bit alti (higher 16 bits) del registro. Il problema qui è che l'istruzione generica MOV in ARM mode potrebbe scrivere solo i 16 bit bassi del registro.

Ricorda che tutti gli opcode delle istruzioni in ARM mode sono limitati ad una lunghezza di 32 bit. Ovviamente questa limitazione non riguarda lo spostamento dei dati tra registri. Per questo motivo esiste l'istruzione aggiuntiva MOV^T per scrivere nelle parti alte dei registri (nei bit da 16 a 31, inclusi). Il suo uso qui è comunque ridondante, perchè l'istruzione MOV R0, #0x1686 di sopra ha azzerato la parte alta del registro. Si tratta probabilmente di un difetto/svista del compilatore.

L'istruzione ADD R0, PC, R0 aggiunge il valore in **PC!** al valore in R0, per calcolare l'indirizzo assoluto della stringa «Hello world!». Come sappiamo, si tratta di «codice indipendente dalla posizione» e quindi questa correzione risulta essenziale in questo caso.

L'istruzione BL chiama la funzione puts() invece di printf().

LLVM ha sostituito la prima chiamata a printf() con puts(). Infatti: printf() con un solo argomento è quasi analoga a puts().

Quasi, perchè le due funzioni producono lo stesso risultato solo nel caso in cui la stringa non contiene identificatori di formato (format identifiers) che iniziano con %. In caso contrario l'effetto di queste due funzioni sarebbe diverso ⁴¹.

Perchè il compilatore ha sostituito printf() con puts()? Probabilmente perchè puts() è più veloce ⁴².

Poichè passa direttamente i caratteri a **stdout** senza confrontare ciascuno di essi con il simbolo %.

Andando avanti, vediamo la familiare istruzione MOV R0, #0 che imposta il registro R0 a 0.

Con ottimizzazione Xcode 4.6.3 (LLVM) (Modalità Thumb-2)

Di default Xcode 4.6.3 genera codice per Thumb-2 in questo modo:

Listing 1.28: Con ottimizzazione Xcode 4.6.3 (LLVM) (Modalità Thumb-2)

__text:00002B6C		__hello_world
__text:00002B6C	80 B5	PUSH {R7,LR}
__text:00002B6E	41 F2 D8 30	MOVW R0, #0x13D8

⁴⁰ <http://developer.apple.com/library/ios/documentation/Xcode/Conceptual/iPhoneOSABIReference/iPhoneOSABIReference.pdf>

⁴¹ Bisogna anche notare che puts() non richiede un simbolo new line '\n' alla fine della stringa, per questo non lo vediamo qui.

⁴² ciselant.de/projects/gcc_printf/gcc_printf.html

```

__text:00002B72 6F 46      MOV      R7, SP
__text:00002B74 C0 F2 00 00    MOVLT.W  R0, #0
__text:00002B78 78 44      ADD      R0, PC
__text:00002B7A 01 F0 38 EA    BLX      _puts
__text:00002B7E 00 20      MOVSL   R0, #0
__text:00002B80 80 BD      POP     {R7,PC}

...

__cstring:00003E70 48 65 6C 6C 6F 20+aHelloWorld DCB "Hello world!",0xA,0

```

Le istruzioni BL e BLX in Thumb mode, come ricordiamo, sono codificate con una coppia di istruzioni 16-bit. In Thumb-2 questi opcode *surrogati* sono estesi in modo tale che le nuove istruzioni possano essere codificate in istruzioni a 32-bit.

Ciò appare ovvio considerando che che gli opcodes delle istruzioni Thumb-2 iniziano sempre con 0xFx o 0xEEx.

Ma nel listato [IDA](#) i byte degli opcode sono invertiti poichè per i processori ARM le istruzioni sono codificate secondo il seguente principio: l'ultimo byte viene prima ed è seguito dal primo byte (per le modalità Thumb e Thumb-2) oppure, per istruzioni in ARM mode il quarto byte viene prima, seguito dal terzo, dal secondo ed infine dal primo (a causa della diversa [endianness](#)).

Quindi i byte nei listati IDA sono collocati così':

- per ARM and ARM64 modes: 4-3-2-1;
- per Thumb mode: 2-1;
- per coppie di istruzioni a 16-bit in Thumb-2 mode: 2-1-4-3.

Come possiamo vedere, le istruzioni MOVW, MOVT.W e BLX iniziano con 0xFx.

Una delle istruzioni Thumb-2 è MOVW R0, #0x13D8 —memorizza un valore a 16-bit nella parte bassa del registro R0, azzerando i bit più alti.

Allo stesso modo, MOVT.W R0, #0 funziona come MOVT nel precedente esempio, ma in Thumb-2.

Tra le altre differenze, l'istruzione BLX in questo caso è usata al posto di BL.

La differenza sta nel fatto che, oltre a salvare [RA](#)⁴³ nel registro [LR](#) e passare il controllo alla funzione puts(), il processore passa dalla modalità Thumb/Thumb-2 alla modalità ARM mode (o viceversa).

Questa istruzione è posta qui poichè l'istruzione a cui il controllo viene passato appare così (è codificata in ARM mode):

```

__symbolstub1:00003FEC _puts      ; CODE XREF: _hello_world+E
__symbolstub1:00003FEC 44 F0 9F E5    LDR     PC, =__imp__puts

```

Si tratta essenzialmente di un jump alla zona dove è scritto l'indirizzo di puts() nella imports section.

⁴³Indirizzo di Ritorno

Il lettore attento potrebbe chiedere: perchè non chiamare `puts()` proprio nel punto del codice dove serve effettivamente?

Perchè non è efficiente in termini di spazio.

Quasi tutti i programmi utilizzano librerie esterne dinamiche (come le DLL in Windows, `.so` in *NIX o `.dylib` in Mac OS X). Le librerie dinamiche contengono funzioni usate di frequente, inclusa la funzione C standard `puts()`.

In un file eseguibile (Windows PE `.exe`, ELF o Mach-O) è presente una sezione di import (import section). Si tratta di una lista di simboli (symbols - funzioni o variabili globali) importata da moduli esterni insieme ai nomi dei moduli stessi.

Il loader dell' OS carica tutti i moduli necessari e, mentre enumera gli import symbols nel modulo primario, determina gli indirizzi corretti per ciascun simbolo.

Nel nostro caso, `__imp_puts` è una variabile a 32-bit usata dal loader dell' OS per memorizzare l'indirizzo corretto della funzione in una libreria esterna. Successivamente l'istruzione LDR legge semplicemente il valore a 32-bit da questa variabile e lo scrive nel registro **PC**, passando il controllo ad esso.

Quindi, per ridurre il tempo necessario al loader dell' OS per completare questa procedura, è una buona idea scrivere l'indirizzo di ogni simbolo solo una volta, in un punto dedicato.

Inoltre, come abbiamo già capito, è impossibile caricare un valore a 32-bit in un registro utilizzando solo una istruzione senza accedere alla memoria.

Pertanto, la soluzione ottimale è quella di allocare una funzione separata, che funziona in ARM mode, con il solo scopo di passare il controllo alla libreria dinamica e quindi saltare dal codice Thumb a questa piccola funzione di una sola istruzione (la cosiddetta **Funzione thunk**).

A proposito, nel precedente esempio (compilato per ARM mode) il controllo viene passato da BL alla stessa **Funzione thunk**. La modalità del processore però non viene cambiata (da cui l'assenza di una «X» nella instruction mnemonic).

Altre informazioni sulle funzioni thunk

Le thunk-functions sono difficili da comprendere, apparentemente, a causa di una denominazione impropria. Il modo migliore per capirle è pensarle come adattatori o convertitori da un tipo di jack ad un altro. Ad esempio, un adattatore che consente l'inserimento di una spina elettrica Inglese in una presa Americana, o viceversa. Le thunk functions sono a volte anche dette *wrappers*.

Seguono altre descrizioni di queste funzioni:

“Un pezzo di codice che fornisce un indirizzo:”, secondo to P. Z. Ingerman, che ha inventato le thunk nel 1961 come un modo per legare i parameters alle loro definizioni formali nelle chiamate a procedura in Algol-60. Se una procedura viene chiamata con un'espressione al posto di un parametro formale, il compilatore genera una thunk che

calcola l'espressione e lascia l'indirizzo del risultato in una posizione standard.

...

Microsoft e IBM hanno definito, nei loro sistemi basati su Intel, un "ambiente a 16-bit" (con orrendi registri di segmento e limitazioni di indirizzi a 64K) e un "ambiente a 32-bit" (con indirizzamento piatto (flat) e gestione della memoria semi reale). I due ambienti possono girare contemporaneamente sullo stesso computer e OS (grazie a quello che, nel mondo Microsoft, è chiamato WOW, acronimo per Windows On Windows). MS e IBM hanno entrambi deciso che il processo di passare da 16 a 32 bit e viceversa è detto un "thunk"; in Windows 95, esiste anche un tool, THUNK.EXE, detto "thunk compiler".

([The Jargon File](#))

Un ulteriore esempio possiamo trovarlo all'interno della libreria LAPACK—un "Linear Algebra PACKage" scritto in FORTRAN. Anche gli sviluppatori C/C++ vogliono utilizzare LAPACK, ma non è pensabile riscriverla in C/C++ e mantenere diverse versioni. Esistono quindi delle piccole funzioni C chiamabili da un ambiente C/C++, che a loro volta chiamano le funzioni FORTRAN, e non fanno quasi nient'altro:

```
double Blas_Dot_Prod(const LaVectorDouble &dx, const LaVectorDouble &dy)
{
    assert(dx.size()==dy.size());
    integer n = dx.size();
    integer incx = dx.inc(), incy = dy.inc();

    return F77NAME(ddot)(&n, &dx(0), &incx, &dy(0), &incy);
}
```

Anche questo tipo di funzioni vengono chiamate "wrapper".

ARM64

GCC

Compiliamo l'esempio con GCC 4.8.1 per ARM64:

Listing 1.29: Senza ottimizzazione GCC 4.8.1 + objdump

```
1 000000000400590 <main>:
2 400590: a9bf7bfd stp x29, x30, [sp,#-16]!
3 400594: 91003fd mov x29, sp
4 400598: 90000000 adrp x0, 400000 <_init-0x3b8>
5 40059c: 91192000 add x0, x0, #0x648
6 4005a0: 97ffffa0 bl 400420 <puts@plt>
7 4005a4: 52800000 mov w0, #0x0 // #0
8 4005a8: a8c17bfd ldp x29, x30, [sp],#16
9 4005ac: d65f03c0 ret
10
```

```

11 ...
12
13 Contents of section .rodata:
14 400640 01000200 00000000 48656c6c 6f210a00 .....Hello!..

```

In ARM64 non ci sono le modalità Thumb e Thumb-2, ma solo ARM, quindi esistono soltanto istruzioni a 32-bit. Il numero di registri è raddoppiato: ?? on page ??. I registri a 64-bit hanno il prefisso X- prefixes, mentre le loro parti a 32-bit hanno il prefisso — W-.

L'istruzione STP (*Store Pair*) salva simultaneamente due registri nello stack: X29 e X30.

Questa istruzione può ovviamente salvare la coppia di valori in una posizione arbitraria in memoria, tuttavia in questo caso è specificato il registro **SP!**, e di conseguenza la coppia viene salvata nello stack.

I registri ARM64 sono a 64-bit, ognuno di essi ha dimensione pari a 8 byte, quindi sono necessari 16 byte per salvare i due registri.

Il punto esclamativo ("!") dopo l'operando sta a significare che 16 deve essere prima sottratto da **SP!**, e solo successivamente i valori devono essere scritti nello stack.

Questo è anche detto *pre-index*. Per le differenze tra *post-index* e *pre-index* leggere qui: ?? on page ??.

Quindi, in termini del più familiare x86, la prima istruzione è semplicemente l'analogo della coppia PUSH X29 e PUSH X30. X29 in ARM64 è usato come **FP**⁴⁴, e X30 come **LR**, e questo spiega perchè sono salvati nel prologo della funzione e ripristinati nell'epilogo.

La seconda istruzione copia **SP!** in X29 (o **FP**). Ciò viene fatto per impostare lo stack frame della funzione.

Le istruzioni ADRP e ADD sono usate per inserire l'indirizzo della stringa «Hello!» nel registro X0, poichè il primo argomento della funzione viene passato in questo registro.

Non esiste alcun tipo di istruzione in ARM in grado di salvare un numero molto grande in un registro (perchè la lunghezza delle istruzioni è limitata a 4 byte, maggiori informazioni qui: ?? on page ??). Perciò devono essere utilizzate più istruzioni. La prima (ADRP), scrive l'indirizzo della pagina di 4KiB (4KiB page) in cui si trova la stringa, nel registro X0, e la seconda (ADD) aggiunge semplicemente il resto dell'indirizzo. Maggiori informazioni su questo tema: ?? on page ??.

$0x400000 + 0x648 = 0x400648$, e vediamo la nostra C-string «Hello!» nel .rodata data segment a questo indirizzo.

puts() viene chiamata subito dopo usando l'istruzione BL. Questo è già stato discusso: 1.5.3 on page 28.

MOV scrive 0 in W0. W0 è la parte bassa a 32 bits del registro a 64-bit X0:

⁴⁴Frame Pointer

	Parte alta dei 32 bit	Parte bassa dei 32 bit
	X0	
	W0	

Il risultato della funzione viene restituito tramite X0 e `main()` restituisce 0, quindi è in questo modo che viene preparato il valore da restituire. Ma perchè usare la parte a 32-bit?

Perchè il tipo *int* in ARM64, esattamente come in x86-64, è ancora a 32 bit, per maggiore compatibilità. Quindi se una funzione restituisce un *int* a 32 bit, solo la parte più bassa a 32 bit del registro X0 verrà utilizzata.

Per verificare quanto detto, cambiamo leggermente l'esempio e ricompiliamolo. Adesso `main()` restituisce un valore a 64-bit:

Listing 1.30: `main()` che ritorna un valore di tipo `uint64_t`

```
#include <stdio.h>
#include <stdint.h>

uint64_t main()
{
    printf ("Hello!\n");
    return 0;
}
```

Il risultato è lo stesso, ma quell'istruzione MOV adesso appare così:

Listing 1.31: Senza ottimizzazione GCC 4.8.1 + `objdump`

4005a4:	d2800000	mov	x0, #0x0	// #0
---------	----------	-----	----------	-------

LDP (*Load Pair*) infine riprisina i registri X29 e X30.

Non c'è il punto esclamativo dopo l'istruzione: ciò implica che il valore viene prima caricato dallo stack, e solo successivamente **SP!** è incrementato di 16. Questo viene detto *post-index*.

Una nuova istruzione è apparsa in ARM64: RET. Funziona esattamente come BX LR, con l'aggiunta di uno speciale *hint* bit, che informa la CPU del fatto che si tratta di un ritorno da una funzione, e non soltanto una normale istruzione jump, in questo modo può venire eseguita in modo più ottimale.

A causa della semplicità della funzione, GCC con le opzioni di ottimizzazione genera esattamente lo stesso codice.

1.5.4 MIPS

Qualche parola sul «global pointer»

Un importante concetto MIPS è il «global pointer». Come potremmo già sapere, ogni istruzione MIPS ha lunghezza pari a 32 bit, quindi è impossibile inserire un indirizzo a 32-bit in una sola istruzione: occorre utilizzarne una coppia (come ha fatto GCC nell'esempio per il caricamento dell'indirizzo della stringa). E' comunque possibile

caricare dati da un indirizzo nell'intervallo $register - 32768 \dots register + 32767$ utilizzando una singola istruzione (perchè 16 bit di un signed offset possono essere codificati in una singola istruzione). Possiamo quindi allocare un registro per questo scopo e allocare anche un'area di 64KiB per i dati più utilizzati. Questo registro dedicato è detto «global pointer» e punta in mezzo all'area di 64KiB. Questa area solitamente contiene variabili globali e indirizzi di funzioni importate come `printf()`, perchè gli sviluppatori di GCC hanno deciso che il recupero dell'indirizzo di una funzione deve essere veloce tanto quanto l'esecuzione di una singola istruzione invece di due. In un file ELF questa area di 64KiB è collocata parzialmente nelle sezioni `.sbss` («small BSS⁴⁵») per dati non inizializzati e `.sdata` («small data») per dati inizializzati. Ciò implica che il programmatore può scegliere a quale dati si possa accedere più velocemente e piazzarli nelle sezioni `.sdata/.sbss`. Alcuni programmatori old-school potrebbero ricordarsi del memory model MS-DOS ?? on page ?? o dei memory manger MS-DOS come XMS/EMS, in cui tutta la memoria era divisa in blocchi da 64KiB.

Questo concetto non è unicamente di MIPS. Anche PowerPC usa la stessa tecnica.

Con ottimizzazione GCC

Consideriamo il seguente esempio che illustra il concetto di «global pointer».

Listing 1.32: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (risultato dell'assembly)

```

1  $LC0:
2  ; \000 è zero byte in base ottale:
3  .ascii "Hello, world!\012\000"
4  main:
5  ; prologo funzione.
6  ; imposta il GP:
7      lui      $28,%hi(__gnu_local_gp)
8      addiu    $sp,$sp,-32
9      addiu    $28,$28,%lo(__gnu_local_gp)
10 ; salva il RA nello stack locale:
11     sw       $31,28($sp)
12 ; carica l'indirizzo della funzione puts() dal GP a $25:
13     lw       $25,%call16(puts)($28)
14 ; carica l'indirizzo della stringa di testo in $4 ($a0):
15     lui      $4,%hi($LC0)
16 ; salta a puts(), salvando l'indirizzo di ritorno nel link register:
17     jalr     $25
18     addiu    $4,$4,%lo($LC0) ; branch delay slot
19 ; ripristina il RA:
20     lw       $31,28($sp)
21 ; copia 0 da $zero a $v0:
22     move     $2,$0
23 ; ritorna saltando al RA:
24     j        $31
25 ; epilogo della funzione:
26     addiu    $sp,$sp,32 ; branch delay slot + liberazione dello stack
    locale

```

⁴⁵Block Started by Symbol

Come possiamo vedere, il registro `$GP` è settato nel prologo della funzione affinché punti nel mezzo di questa area. Il registro `RA` viene anche salvato sullo stack locale. `puts()` anche qui viene usata al posto di `printf()`. L'indirizzo della funzione `puts()` è caricato in `$25` usando `LW`, l'istruzione («Load Word»). Successivamente l'indirizzo della stringa viene caricato in `$4` usando la coppia di istruzioni `LUI` («Load Upper Immediate») e `ADDIU` («Add Immediate Unsigned Word»). `LUI` setta i 16 bit alti del registro (da cui la parola «upper» nel nome dell'istruzione) e `ADDIU` aggiunge i 16 bit più bassi dell'indirizzo.

`ADDIU` segue `JALR` (ti ricordi dei *branch delay slots*?). Il registro `$4` è anche detto `$A0`, viene usato per passare il primo argomento di una funzione ⁴⁶.

`JALR` («Jump and Link Register») salta all'indirizzo memorizzato nel registro `$25` register (indirizzo di `puts()`) salvando l'indirizzo della prossima istruzione (`LW`) in `RA`. Questo è molto simile ad ARM. Oh, e una cosa importate è che l'indirizzo salvato in `RA` non è l'indirizzo della prossima istruzione (perché è in un *delay slot* e viene eseguito prima della prossima istruzione `jump`), ma l'indirizzo dell'istruzione dopo la prossima (dopo il *delay slot*). Quindi, $PC + 8$ viene scritto in `RA` durante l'esecuzione di `JALR`, nel nostro caso, questo è l'indirizzo dell'istruzione `LW` successiva a `ADDIU`.

`LW` («Load Word») alla riga 20 ripristina `RA` dallo stack locale (questa istruzione è in effetti part dell'epilogo della funzione).

`MOVE` alla riga 22 copia il valore dal registro `$0` (`$ZERO`) al `$2` (`$V0`).

MIPS ha un registro *costante*, il cui valore è sempre zero. Apparentemente, gli sviluppatori MIPS hanno pensato che zero è la costante più usata in programmazione, quindi usiamo il registro `$0` ogni volta che serve il valore zero.

Un altro fatto interessante è che in MIPS non c'è un'istruzione che trasferisce dati tra registri. Infatti, `MOVE DST, SRC` è `ADD DST, SRC, $ZERO` ($DST = SRC + 0$), che fa la stessa cosa. Apparentemente gli sviluppatori MIPS desideravano avere una tabella di opcode compatta. Questo non significa che un'addizione si verifichi per ogni istruzione `MOVE`. Molto probabilmente, la `CPU` ottimizza queste pseudoistruzioni e la `ALU`⁴⁷ non viene mai usata.

`J` a riga 24 salta all'indirizzo in `RA`, effettuando di fatti il ritorno dalla funzione. `ADDIU` dopo `J` viene in effetti eseguita prima di `J` (ricordi i *branch delay slots*?) e fa parte dell'epilogo della funzione. Ecco anche il listato generato da `IDA`. Ogni registro qui ha il suo pseudonimo:

Listing 1.33: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (`IDA`)

```

1 .text:00000000 main:
2 .text:00000000
3 .text:00000000 var_10      = -0x10
4 .text:00000000 var_4      = -4
5 .text:00000000
6 ; prologo della funzione.
7 ; imposta il GP:
8 .text:00000000          lui    $gp, (__gnu_local_gp >> 16)
9 .text:00000004          addiu   $sp, -0x20

```

⁴⁶La tabella dei registri MIPS è riportata in appendice ?? on page ??

⁴⁷Unità aritmetica e logica (Arithmetic Logic Unit)


```

10 .text:00000008      la      $gp, (__gnu_local_gp & 0xFFFF)
11 ; salva il RA nello stack locale:
12 .text:0000000C      sw      $ra, 0x20+var_4($sp)
13 ; salva il GP nello stack locale:
14 ; per qualche ragione, questa istruzione non è presente nell' output assembly
    di GCC:
15 .text:00000010      sw      $gp, 0x20+var_10($sp)
16 ; carica l'indirizzo della funzione puts() dal GP al $t9:
17 .text:00000014      lw      $t9, (puts & 0xFFFF)($gp)
18 ; forma l'indirizzo della stringa di testo in $a0:
19 .text:00000018      lui     $a0, ($LC0 >> 16) # "Hello, world!"
20 ; salta a puts(), salvando l'indirizzo di ritorno nel link register:
21 .text:0000001C      jalr    $t9
22 .text:00000020      la      $a0, ($LC0 & 0xFFFF) # "Hello,
    world!"
23 ; ripristina il RA:
24 .text:00000024      lw      $ra, 0x20+var_4($sp)
25 ; copia 0 da $zero a $v0:
26 .text:00000028      move    $v0, $zero
27 ; ritorna saltando al RA:
28 .text:0000002C      jr      $ra
29 ; epilogo funzione:
30 .text:00000030      addiu    $sp, 0x20

```

L'istruzione alla riga 15 salva il valore di GP sullo stack locale, e questa istruzione manca misteriosamente dal listato prodotto da GCC, forse per un errore di GCC ⁴⁸. Il valore di GP deve essere infatti salvato, perchè ogni funzione può usare la sua finestra dati da 64KiB. Il registro contenente l'indirizzo di puts() è chiamato \$T9, perchè i registri con il prefisso T- sono detti «temporaries» ed il loro contenuto può non essere preservato.

Senza ottimizzazione GCC

Senza ottimizzazione GCC è più verboso.

Listing 1.34: Senza ottimizzazione GCC 4.4.5 (risultato dell'assembly)

```

1 $LC0:
2     .ascii "Hello, world!\012\000"
3 main:
4 ; prologo funzione.
5 ; Salva il RA ($31) e FP nello stack:
6     addiu    $sp,$sp,-32
7     sw      $31,28($sp)
8     sw      $fp,24($sp)
9 ; imposta il FP (stack frame pointer):
10    move     $fp,$sp
11 ; imposta il GP:
12    lui     $28,%hi(__gnu_local_gp)
13    addiu    $28,$28,%lo(__gnu_local_gp)
14 ; carica l'indirizzo della stringa di testo:

```

⁴⁸Apparentemente, le funzioni che generano i listati non sono fondamentali per gli utenti GCC, quindi può esserci qualche errore non ancora corretto.

```

15      lui      $2,%hi($LC0)
16      addiu    $4,$2,%lo($LC0)
17 ; carica l'indirizzo di puts() usando il GP:
18      lw       $2,%call16(puts)($28)
19      nop
20 ; chiama puts():
21      move     $25,$2
22      jalr     $25
23      nop ; branch delay slot
24
25 ; ripristina il GP dallo stack locale:
26      lw       $28,16($fp)
27 ; imposta il registro $2 ($V0) a zero:
28      move     $2,$0
29 ; epilogo funzione.
30 ; ripristina il SP:
31      move     $sp,$fp
32 ; ripristina il RA:
33      lw       $31,28($sp)
34 ; ripristina il FP:
35      lw       $fp,24($sp)
36      addiu    $sp,$sp,32
37 ; salta al RA:
38      j        $31
39      nop ; branch delay slot

```

Qui vediamo che il registro FP è usato come un puntatore allo stack frame. Vediamo anche 3 **NOP**. Di cui il secondo e terzo seguono all'istruzione branch. Forse GCC aggiunge sempre dei **NOP** (a causa dei *branch delay slots*) dopo le istruzioni branch e successivamente, se le ottimizzazioni sono attivate, forse li elimina. Quindi in questo caso sono rimasti.

Ecco anche il listato **IDA**:

Listing 1.35: Senza ottimizzazione GCC 4.4.5 (**IDA**)

```

1  .text:00000000 main:
2  .text:00000000
3  .text:00000000 var_10      = -0x10
4  .text:00000000 var_8      = -8
5  .text:00000000 var_4      = -4
6  .text:00000000
7  ; prologo funzione.
8  ; salva il RA e FP nello stack:
9  .text:00000000          addiu    $sp, -0x20
10 .text:00000004          sw       $ra, 0x20+var_4($sp)
11 .text:00000008          sw       $fp, 0x20+var_8($sp)
12 ; imposta il FP (stack frame pointer):
13 .text:0000000C          move     $fp, $sp
14 ; imposta il GP:
15 .text:00000010          la       $gp, __gnu_local_gp
16 .text:00000018          sw       $gp, 0x20+var_10($sp)
17 ; carica l'indirizzo della stringa di testo:

```

```

18 | .text:0000001C      lui      $v0, (aHelloWorld >> 16) # "Hello,
    |      world!"
19 | .text:00000020      addiu     $a0, $v0, (aHelloWorld & 0xFFFF) #
    |      "Hello, world!"
20 | ; carica l'indirizzo di puts() usando il GP:
21 | .text:00000024      lw        $v0, (puts & 0xFFFF)($gp)
22 | .text:00000028      or        $at, $zero ; NOP
23 | ; chiama puts():
24 | .text:0000002C      move      $t9, $v0
25 | .text:00000030      jalr      $t9
26 | .text:00000034      or        $at, $zero ; NOP
27 | ; ripristina il GP dallo stack locale:
28 | .text:00000038      lw        $gp, 0x20+var_10($fp)
29 | ; imposta il registro $2 ($V0) a zero:
30 | .text:0000003C      move      $v0, $zero
31 | ; epilogo funzione.
32 | ; ripristina lo SP:
33 | .text:00000040      move      $sp, $fp
34 | ; ripristina il RA:
35 | .text:00000044      lw        $ra, 0x20+var_4($sp)
36 | ; ripristina il FP:
37 | .text:00000048      lw        $fp, 0x20+var_8($sp)
38 | .text:0000004C      addiu     $sp, 0x20
39 | ; salta al RA:
40 | .text:00000050      jr        $ra
41 | .text:00000054      or        $at, $zero ; NOP

```

E' interessante notare che [IDA](#) ha riconosciuto la coppia di istruzioni LUI/ADDIU e le ha fuse in un'unica pseudoistruzione LA («Load Address») alla riga 15. Possiamo anche vedere che questa pseudoistruzione è lunga 8 byte! Questa è una pseudoistruzione (o *macro*) in quanto non è una vera istruzione MIPS, ma soltanto un nome comodo per una coppia di istruzioni.

Un'altra cosa è che [IDA](#) non ha riconosciuto le istruzioni [NOP](#) che sono alle righe 22, 26 e 41. E' OR \$AT, \$ZERO. Essenzialmente, questa istruzione applica l'operazione OR al contenuto del registro \$AT con zero, che è, ovviamente, un'istruzione inutile. MIPS, come molte altre [ISA](#), non ha un'istruzione [NOP](#) propria.

Ruolo dello the stack frame in questo esempio

L'indirizzo della stringa è passato nel registro. Perchè allora impostare ugualmente uno stack locale? La ragione sta nel fatto che i valori dei registri [RA](#) e GP devono essere salvati da qualche parte (poichè viene chiamata `printf()`), e lo stack locale è usato proprio per questo scopo. Se fosse stata una [funzione foglia](#), sarebbe stato possibile fare a meno del prologo e dell'epilogo, ad esempio: [1.4.3 on page 11](#).

Con ottimizzazione GCC: carichiamolo in GDB

Listing 1.36: sample GDB session

```
root@debian-mips:~# gcc hw.c -O3 -o hw
```

```

root@debian-mips:~# gdb hw
GNU gdb (GDB) 7.0.1-debian
...
Reading symbols from /root/hw...(no debugging symbols found)...done.
(gdb) b main
Breakpoint 1 at 0x400654
(gdb) run
Starting program: /root/hw

Breakpoint 1, 0x00400654 in main ()
(gdb) set step-mode on
(gdb) disas
Dump of assembler code for function main:
0x00400640 <main+0>:   lui      gp,0x42
0x00400644 <main+4>:   addiu   sp,sp,-32
0x00400648 <main+8>:   addiu   gp,gp,-30624
0x0040064c <main+12>:  sw      ra,28(sp)
0x00400650 <main+16>:  sw      gp,16(sp)
0x00400654 <main+20>:  lw      t9,-32716(gp)
0x00400658 <main+24>:  lui     a0,0x40
0x0040065c <main+28>:  jalr    t9
0x00400660 <main+32>:  addiu   a0,a0,2080
0x00400664 <main+36>:  lw      ra,28(sp)
0x00400668 <main+40>:  move    v0,zero
0x0040066c <main+44>:  jr      ra
0x00400670 <main+48>:  addiu   sp,sp,32
End of assembler dump.
(gdb) s
0x00400658 in main ()
(gdb) s
0x0040065c in main ()
(gdb) s
0x2ab2de60 in printf () from /lib/libc.so.6
(gdb) x/s $a0
0x400820:          "hello, world"
(gdb)

```

1.5.5 Conclusione

La differenza principale tra il codice x86/ARM e x64/ARM64 è che il puntatore alla stringa è adesso lungo 64 bit. Infatti, le moderne CPU sono ora a 64-bit grazie ai costi ridotti della memoria e alla sua grande richiesta da parte delle applicazioni moderne. Possiamo aggiungere ai nostri computer più memoria di quanto i puntatori a 32-bit siano in grado di indirizzare. Di conseguenza, tutti i puntatori sono adesso a 64-bit.

1.5.6 Esercizi

- <http://challenges.re/48>
- <http://challenges.re/49>

1.6 Prologo ed epilogo delle funzioni

Il prologo (o preambolo) di una funzione è una sequenza di istruzioni all'inizio della funzione stessa. Spesso ha una forma simile al seguente frammento di codice:

```
push    ebp
mov     ebp, esp
sub     esp, X
```

Cosa fanno queste istruzioni: salvano il valore del registro EBP, impostano il valore del registro EBP con il valore di ESP e allocano spazio sullo stack per le variabili locali.

Il valore di EBP resta costante durante il periodo di esecuzione della funzione, ed è usato per accedere a variabili locali e argomenti. Per lo stesso scopo si può usare ESP, ma siccome questo cambia nel tempo, si tratta di approccio non molto conveniente.

L'epilogo della funzione libera lo spazio allocato nello stack, ripristina il valore nel registro EBP al suo stato iniziale e restituisce il controllo al [chiamante](#):

```
mov     esp, ebp
pop     ebp
ret     0
```

Prologo ed epilogo di funzioni sono solitamente identificati nei disassemblatori per delimitare le funzioni.

1.6.1 Ricorsione

Epiloghi e prologhi possono avere un effetto negativo sulla performance in caso di ricorsione.

Maggiori informazioni sulla ricorsione in questo libro: ?? on page ??.

1.7 Una Funzione Vuota: redux

Torniamo all'esempio della funzione vuota [1.3 on page 8](#). Ora che conosciamo il prologo e l'epilogo delle funzioni, questa è una funzione vuota [1.1 on page 8](#) compilata con GCC non ottimizzato:

Listing 1.37: Senza ottimizzazione GCC 8.2 x64 (risultato dell'assembly)

```
f:
    push    rbp
    mov     rbp, rsp
    nop
    pop     rbp
    ret
```

E' RET, ma il prologo e l'epilogo della funzione, probabilmente, non sono state ottimizzate e sono state lasciate così. NOP Sembrerebbe un'altro artefatto del compilatore. In ogni caso, l'unica istruzione effettiva qui è RET. Tutte le altre istruzioni possono essere rimosse (oppure ottimizzate).

1.8 Valori di Ritorno: redux

Di nuovo, ora che conosciamo prologo ed epilogo di una funzione, ricompiliamo un esempio che ritorna un valore (1.4 on page 10, 1.8 on page 10) usando GCC non ottimizzato:

Listing 1.38: Senza ottimizzazione GCC 8.2 x64 (risultato dell'assembly)

```
f:
    push    rbp
    mov     rbp, rsp
    mov     eax, 123
    pop     rbp
    ret
```

Qui le istruzioni effettive sono MOV e RET, le altre sono - prologo e epilogo.

1.9 Stack

Lo stack è una delle strutture dati più importanti in informatica ⁴⁹. AKA⁵⁰ LIFO⁵¹.

Tecnicamente, è soltanto un blocco di memoria nella memoria di un processo insieme al registro ESP o RSP in x86 o x64, o il registro **SP!** in ARM, come puntatore all'interno di quel blocco.

Le istruzioni di accesso allo stack più usate sono PUSH e POP (sia in x86 che in ARM Thumb-mode). PUSH sottrae da ESP/RSP/**SP!** 4 in modalità 32-bit (oppure 8 in modalità 64-bit) e scrive successivamente il contenuto del suo unico operando nell'indirizzo di memoria puntato da ESP/RSP/**SP!**.

POP è l'operazione inversa: recupera il dato dalla memoria a cui punta **SP!**, lo carica nell'operando dell'istruzione (di solito un registro) e successivamente aggiunge 4 (o 8) allo [stack pointer](#).

A seguito dell'allocazione dello stack, lo [stack pointer](#) punta alla base (fondo) dello stack. PUSH decrementa lo [stack pointer](#) e POP lo incrementa. La base dello stack è in realtà all'inizio del blocco di memoria allocato per lo stack. Sembra strano, ma è così.

ARM supporta sia stack decrescenti che crescenti.

Ad esempio le istruzioni [STMFD/LDMFD](#), [STMED](#)⁵²/[LDMED](#)⁵³ sono fatte per operare con uno stack decrescente (che cresce verso il basso, inizia con un indirizzo alto e prosegue verso il basso). Le istruzioni [STMFA](#)⁵⁴/[LDMFA](#)⁵⁵, [STMEA](#)⁵⁶/[LDMEA](#)⁵⁷ sono

⁴⁹ wikipedia.org/wiki/Call_stack

⁵⁰ Also Known As — anche conosciuto come

⁵¹ Ultimo arrivato primo ad uscire (Last In First Out)

⁵² Store Multiple Empty Descending ()

⁵³ Load Multiple Empty Descending ()

⁵⁴ Store Multiple Full Ascending ()

⁵⁵ Load Multiple Full Ascending ()

⁵⁶ Store Multiple Empty Ascending ()

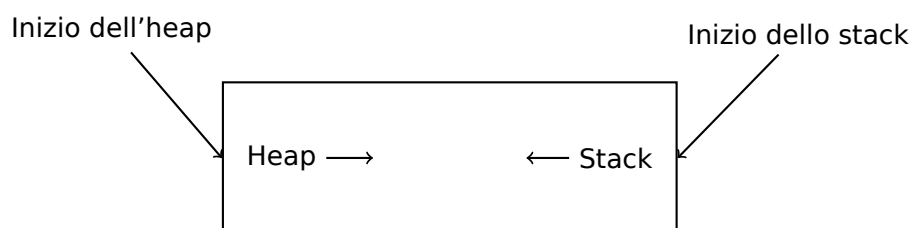
⁵⁷ Load Multiple Empty Ascending ()

fatte per operare con uno stack crescente (che cresce verso l'alto, da un indirizzo basso verso uno più alto).

1.9.1 Perché lo stack cresce al contrario?

Intuitivamente potremmo pensare che lo stack cresca verso l'alto, ovvero verso indirizzi più alti, come qualunque altra struttura dati.

La ragione per cui lo stack cresce verso il basso è probabilmente di natura storica. Quando i computer erano talmente grandi da occupare un'intera stanza, era facile dividere la memoria in due parti, una per lo [heap](#) e l'altra per lo stack. Ovviamente non era possibile sapere a priori quanto sarebbero stati grandi lo stack e lo [heap](#) durante l'esecuzione di un programma, e questa soluzione era la più semplice.



In [D. M. Ritchie and K. Thompson, *The UNIX Time Sharing System*, (1974)]⁵⁸ possiamo leggere:

Il nucleo utente di una immagine è diviso in tre segmenti logici. Il segmento text del programma inizia in posizione 0 nel virtual address space. Durante l'esecuzione questo segmento viene protetto da scrittura, ed una sua singola copia viene condivisa tra i processi che eseguono lo stesso programma. Al primo limite di 8K byte sopra il segmento text del programma, nel virtual address space comincia un segmento dati scrivibile, non condiviso, le cui dimensioni possono essere estese da una chiamata di sistema. A partire dall'indirizzo più alto nel virtual address space c'è lo stack segment, che automaticamente cresce verso il basso al variare dello stack pointer hardware.

Questo ricorda molto come alcuni studenti utilizzino lo stesso quaderno per prendere appunti di due diverse materie: gli appunti per la prima materia sono scritti normalmente, e quelli della seconda materia sono scritti a partire dalla fine del quaderno, capovolgendolo. Le note si potrebbero "incontrare" da qualche parte in mezzo al quaderno, nel caso in cui non ci sia abbastanza spazio libero.

1.9.2 Per cosa viene usato lo stack?

Salvare l'indirizzo di ritorno della funzione

x86

⁵⁸[Italian text placeholderURL](#)

Quando si chiama una funzione con l'istruzione CALL, l'indirizzo del punto esattamente dopo la CALL viene salvato nello stack, e successivamente viene eseguito un jump non condizionale all'indirizzo dell'operando di CALL.

L'istruzione CALL è equivalente alla coppia di istruzioni PUSH indirizzo_dopo_call / JMP operando.

RET preleva un valore dallo stack ed effettua un jump ad esso — ciò equivale alla coppia di istruzioni POP tmp / JMP tmp.

Riempire lo stack fino allo straripamento è semplicissimo. Basta ricorrere alla ricorrenza eterna:

```
void f()
{
    f();
};
```

MSVC 2008 riporta il problema:

```
c:\tmp6>cl ss.cpp /Fass.asm
Microsoft (R) 32-bit C/C++ Optimizing Compiler Version 15.00.21022.08 for x86
Copyright (C) Microsoft Corporation. All rights reserved.

ss.cpp
c:\tmp6\ss.cpp(4) : warning C4717: 'f' : recursive on all control paths,
function will cause runtime stack overflow
```

...ma genera in ogni caso il codice correttamente:

```
?f@@YAXXZ PROC                ; f
; Line 2
    push    ebp
    mov     ebp, esp
; Line 3
    call    ?f@@YAXXZ          ; f
; Line 4
    pop     ebp
    ret     0
?f@@YAXXZ ENDP                ; f
```

...Se attiviamo le ottimizzazioni del compilatore (/Ox option) il codice ottimizzato non causerà overflow dello stack e funzionerà invece *correttamente*⁵⁹:

```
?f@@YAXXZ PROC                ; f
; Line 2
$LL3@f:
; Line 3
    jmp     SHORT $LL3@f
?f@@YAXXZ ENDP                ; f
```

GCC 4.4.1 genera codice simile in entrambi i casi, senza avvertire del problema.

⁵⁹sarcasmo, si fa per dire

ARM

Anche i programmi ARM usano lo stack per salvare gli indirizzi di ritorno, ma lo fanno in maniera diversa. Come detto in «Hello, world!» ([1.5.3 on page 24](#)), il **RA** viene salvato nel **LR** ([registro link](#)). Se si presenta comunque la necessità di chiamare un'altra funzione ed usare il registro **LR** ancora una volta, il suo valore deve essere salvato. Solitamente questo valore viene salvato nel preambolo della funzione.

Spesso vediamo istruzioni come `PUSH R4-R7,LR` insieme ad istruzioni nell'epilogo come `POP R4-R7,PC`—perciò i valori dei registri che saranno usati nella funzione vengono salvati nello stack, incluso **LR**.

Ciononostante, se una funzione non chiama al suo interno nessun'altra funzione, in terminologia **RISC** è detta *funzione foglia*, o funzione foglia.⁶⁰ Di conseguenza, le leaf functions non salvano il registro **LR** register (perchè difatti non lo modificano). Se una simile funzione è molto breve e usa un piccolo numero di registri, potrebbe non usare del tutto lo stack. E' quindi possibile chiamare le leaf functions senza usare lo stack, cosa che può essere più veloce rispetto alle vecchie macchine x86 perchè la RAM esterna non viene usata per lo stack⁶¹. Lo stesso principio può tornare utile quando la memoria per lo stack non è stata ancora allocata o non è disponibile.

Alcuni esempi di funzioni foglia: [1.14.3 on page 136](#), [1.14.3 on page 137](#), [?? on page ??](#), [?? on page ??](#), [?? on page ??](#), [1.192 on page 268](#), [1.190 on page 265](#), [?? on page ??](#).

Passaggio di argomenti alle funzioni

Il modo più diffuso per passare parametri in x86 è detto «cdecl»:

```
push arg3
push arg2
push arg1
call f
add esp, 12 ; 4*3=12
```

Le funzioni chiamate, [Chiamata](#), ricevono i propri argomenti tramite lo stack pointer.

Quindi è così che i valori degli argomenti sono posizionati nello stack prima dell'esecuzione della prima istruzione della funzione `f()`:

ESP	return address
ESP+4	argomento#1, marcato in IDA come <code>arg_0</code>
ESP+8	argomento#2, marcato in IDA come <code>arg_4</code>
ESP+0xC	argomento#3, marcato in IDA come <code>arg_8</code>
...	...

⁶⁰infocenter.arm.com/help/index.jsp?topic=/com.arm.doc.faqs/ka13785.html

⁶¹Tempo fa, su PDP-11 e VAX, l'istruzione `CALL` (usata per chiamare altre funzioni) era costosa; poteva richiedere fino al 50% del tempo di esecuzione, ed era quindi consuetudine pensare che avere un grande numero di piccole funzioni fosse un *anti-pattern* [Eric S. Raymond, *The Art of UNIX Programming*, (2003)Chapter 4, Part II].

Per ulteriori informazioni su altri tipi di convenzioni di chiamata (calling conventions), fare riferimento alla sezione ([?? on page ??](#)).

A proposito, la funzione [chiamata](#) non possiede alcuna informazione su quanti argomenti sono stati passati. Le funzioni C con un numero variabile di argomenti (come `printf()`) determinano il loro numero attraverso specificatori di formato stringa (che iniziano con il simbolo `%`).

Se scriviamo qualcosa come:

```
printf("%d %d %d", 1234);
```

`printf()` scriverà 1234, e successivamente due numeri casuali⁶², che si trovavano lì vicino nello stack.

Per questo motivo non è molto importante come dichiariamo la funzione `main()`: come `main()`,

`main(int argc, char *argv[])` oppure `main(int argc, char *argv[], char *envp[])`.

Infatti, il codice [CRT](#) sta chiamando `main()` circa in questo modo:

```
push envp
push argv
push argc
call main
...
```

Se dichiari `main()` come `main()` senza argomenti, questi sono, in ogni caso, ancora presenti nello stack, ma non vengono utilizzati. Se dichiari `main()` come `main(int argc, char *argv[])`, sarai in grado di utilizzare i primi due argomenti, ed il terzo rimarrà «invisibile» per la tua funzione. In più, è possibile dichiarare `main(int argc)`, e continuerà a funzionare.

Metodi alternativi per passare argomenti

Vale la pena notare che non c'è nulla che obbliga il programmatore a passare gli argomenti attraverso lo stack. Non è un requisito necessario. Si potrebbe implementare un qualunque altro metodo anche senza usare per niente lo stack.

Un metodo abbastanza popolare tra chi inizia a programmare in linguaggio assembly language è di passare argomenti attraverso variabili globali, in questo modo:

Listing 1.39: Assembly code

```
...
mov     X, 123
mov     Y, 456
call    do_something
...
```

⁶²Non casuali in senso stretto, ma piuttosto non predicibili: [1.9.4 on page 51](#)

```

X      dd      ?
Y      dd      ?

do_something proc near
    ; take X
    ; take Y
    ; do something
    retn
do_something endp

```

Tuttavia questo metodo ha un limite evidente: la funzione *do_something()* non può richiamare sè stessa in modo ricorsivo (o attraverso un'altra funzione), perchè deve cancellare i suoi stessi argomenti. Lo stesso accade con le variabili locali: se le tieni in variabili globali, la funzione non può chiamare se stessa. Inoltre questo non sarebbe thread-safe ⁶³. Il metodo di memorizzare queste informazioni nello stack rende il tutto più semplice—può mantenere quanti argomenti di funzione e/o valori, quanto spazio è disponibile.

[Donald E. Knuth, *The Art of Computer Programming*, Volume 1, 3rd ed., (1997), 189] menziona alcuni schemi ancora più strani e particolarmente convenienti su IBM System/360.

MS-DOS utilizzava un modo per passare tutti gli argomenti di funzione via registri, ad esempio, in questo pezzo di codice per MS-DOS a 16 bit scrive "Hello, world!":

```

mov  dx, msg      ; indirizzo del messaggio
mov  ah, 9         ; 9 indica la funzione "print string"
int  21h          ; "syscall" (chiamata di sistema) DOS

mov  ah, 4ch       ; funzione "termina il programma"
int  21h          ; "syscall" DOS

msg  db 'Hello, World!\$'

```

Questo è abbastanza simile al metodo ?? on page ?. Ed è inoltre molto simile alle chiamate syscalls in Linux (?? on page ?) e Windows.

Se una funzione MS-DOS restituisce un valore di tipo boolean (cioè, un singolo bit, di solito per indicare uno stato di errore), il flag CF era spesso utilizzato.

Ad esempio:

```

mov  ah, 3ch       ; crea file
lea  dx, filename
mov  cl, 1
int  21h
jc   error
mov  file_handle, ax
...
error:

```

⁶³Implementato correttamente, ciascun thread avrebbe il suo proprio stack con i suoi argomenti/variabili.

...

In caso di errore, il flag CF viene innalzato. Altrimenti, l'handle ad un nuovo file creato viene restituito attraverso AX.

Questo metodo viene ancora utilizzato dai programmatori assembly. Nel codice sorgente del Windows Research Kernel (che è abbastanza simile a Windows 2003) possiamo trovare qualcosa tipo: (file *base/ntos/ke/i386/cpu.asm*):

```

    public  Get386Stepping
Get386Stepping proc

    call    MultiplyTest          ; Esegue test di moltiplicazione
    jnc     short G3s00          ; se nc, muttest è ok
    mov     ax, 0
    ret

G3s00:
    call    Check386B0           ; Verifica B0 stepping
    jnc     short G3s05          ; se nc, è B1/later
    mov     ax, 100h             ; è B0/earlier stepping
    ret

G3s05:
    call    Check386D1           ; Verifica D1 stepping
    jc      short G3s10          ; se c, non è D1
    mov     ax, 301h             ; è D1/later stepping
    ret

G3s10:
    mov     ax, 101h             ; suppone che sia B1 stepping
    ret

    ...

MultiplyTest proc

    xor     cx,cx                ; 64K volte è un bel numero tondo
mlt00:    push    cx
    call    Multiply             ; la moltiplicazione funziona in
    questo chip?
    pop     cx
    jc      short mltx           ; se c, No, esci
    loop    mlt00               ; se nc, Si, cicla per riprovare
    clc
mltx:
    ret

MultiplyTest endp

```

Memorizzazione di variabili locali

Una funzione può allocare spazio nello stack per le sue variabili locali, semplicemente decrementando lo [stack pointer](#) verso il basso dello stack.

Pertanto l'operazione risulta molto veloce, a prescindere dal numero di variabili locali definite. Anche in questo caso utilizzare lo stack per memorizzare variabili locali non è un requisito necessario. Si possono memorizzare le variabili locali dove si vuole, ma tradizionalmente si fa in questo modo.

x86: la funzione `alloca()`

Vale la pena esaminare la funzione `alloca()` ⁶⁴. Questa funzione opera come `malloc()`, ma `alloca` memoria direttamente nello stack. Il pezzo di memoria allocato non necessita di essere liberato tramite una chiamata alla funzione `free()` function call, poichè l'epilogo della funzione (1.6 on page 40) ripristina ESP al suo valore iniziale e la memoria allocata viene semplicemente *abbandonata*. Vale anche la pena notare come è implementata la funzione `alloca()`. In termini semplici, questa funzione sposta ESP verso il basso, verso la base dello stack, per il numero di byte necessari e setta ESP per puntare al blocco *allocato*.

Proviamo:

```
#ifdef __GNUC__
#include <alloca.h> // GCC
#else
#include <malloc.h> // MSVC
#endif
#include <stdio.h>

void f()
{
    char *buf=(char*)alloca (600);
#ifdef __GNUC__
    snprintf (buf, 600, "hi! %d, %d, %d\n", 1, 2, 3); // GCC
#else
    _snprintf (buf, 600, "hi! %d, %d, %d\n", 1, 2, 3); // MSVC
#endif

    puts (buf);
};
```

La funzione `_snprintf()` opera come `printf()`, ma invece di inviare il risultato a `stdout` (es. al terminale o console), lo scrive nel buffer `buf`. La funzione `puts()` copia il contenuto di `buf` in `stdout`. Ovviamente queste due chiamate potrebbero essere rimpiazzate da una sola chiamata a `printf()`, ma questo è solo un esempio per illustrare l'uso di un piccolo buffer.

MSVC

Compiliamo (MSVC 2010):

Listing 1.40: MSVC 2010

⁶⁴In MSVC, l'implementazione della funzione si trova in `alloca16.asm` e `chkstk.asm` in `C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio 10.0\VC\src\intel`

```

...
mov    eax, 600 ; 00000258H
call   __alloca_probe_16
mov    esi, esp

push   3
push   2
push   1
push   OFFSET $SG2672
push   600      ; 00000258H
push   esi
call   __snprintf

push   esi
call   _puts
add    esp, 28

...

```

L'unico argomento di `alloca()` viene passato tramite il registro EAX (anzichè inserirlo nello stack) ⁶⁵.

GCC + Sintassi Intel

GCC 4.4.1 fa lo stesso senza chiamare funzioni esterne:

Listing 1.41: GCC 4.7.3

```

.LC0:
.string "hi! %d, %d, %d\n"
f:
    push    ebp
    mov     ebp, esp
    push    ebx
    sub     esp, 600
    lea     ebx, [esp+39]
    and     ebx, -16                ; allinea puntatore con un bordo di
16-byte
    mov     DWORD PTR [esp], ebx    ; s
    mov     DWORD PTR [esp+20], 3
    mov     DWORD PTR [esp+16], 2
    mov     DWORD PTR [esp+12], 1
    mov     DWORD PTR [esp+8], OFFSET FLAT:.LC0 ; "hi! %d, %d, %d\n"
    mov     DWORD PTR [esp+4], 600  ; maxlen
    call    __snprintf
    mov     DWORD PTR [esp], ebx    ; s

```

⁶⁵Questo perchè `alloca()` è più una "compiler intrinsic" (?? on page ??) che una funzione normale. Una delle ragioni per cui abbiamo bisogno di una funzione separata, invece di utilizzare semplicemente un paio di istruzioni nel codice, è che l'implementazione di `alloca()` usata da [MSVC](#)⁶⁶ include anche del codice che legge dalla memoria appena allocata, per far sì che l'OS effettui il mapping della memoria fisica in questa regione della [VM](#)⁶⁷. Dopo la chiamata a `alloca()`, ESP punta al blocco di 600 byte, ed è possibile utilizzarlo come memoria per l'array buf.

```

call    puts
mov     ebx, DWORD PTR [ebp-4]
leave
ret

```

GCC + Sintassi AT&T

Esaminiamo lo stesso codice, ma in sintassi AT&T:

Listing 1.42: GCC 4.7.3

```

.LC0:
.string "hi! %d, %d, %d\n"
f:
    pushl    %ebp
    movl     %esp, %ebp
    pushl    %ebx
    subl     $660, %esp
    leal     39(%esp), %ebx
    andl     $-16, %ebx
    movl     %ebx, (%esp)
    movl     $3, 20(%esp)
    movl     $2, 16(%esp)
    movl     $1, 12(%esp)
    movl     $.LC0, 8(%esp)
    movl     $600, 4(%esp)
    call     _snprintf
    movl     %ebx, (%esp)
    call     puts
    movl     -4(%ebp), %ebx
    leave
    ret

```

Il codice è uguale a quello del listato precedente.

A proposito, `movl $3, 20(%esp)` corrisponde a `mov DWORD PTR [esp+20], 3` in sintassi Intel. In sintassi AT&T, il formato registro+offset per indirizzare memoria appare come `offset(%register)`.

(Windows) SEH

I record [SEH](#)⁶⁸, se presenti, sono anch'essi memorizzati nello stack. Maggiori informazioni qui: [\(5.2.1 on page 300\)](#).

Protezione contro buffer overflow

Maggiori informazioni qui [\(1.25.2 on page 279\)](#).

⁶⁸Structured Exception Handling

Deallocazione automatica dei dati nello stack

Probabilmente la ragione per cui si memorizzano nello stack le variabili locali e i record SEH deriva dal fatto che questi dati vengono "liberati" automaticamente all'uscita dalla funzione, usando soltanto un'istruzione per correggere lo stack pointer (spesso è ADD). Si può dire che anche gli argomenti delle funzioni sono deallocati automaticamente alla fine della funzione. Invece, qualunque altra cosa memorizzata nello *heap* deve essere deallocata esplicitamente.

1.9.3 Una tipico layout dello stack

Una disposizione tipica dello stack in un ambiente a 32-bit all'inizio di una funzione, prima dell'esecuzione della sua prima istruzione, appare così:

...	...
ESP-0xC	variabile locale#2, marcato in IDA come var_8
ESP-8	variabile locale#1, marcato in IDA come var_4
ESP-4	valore memorizzato diEBP
ESP	Indirizzo di Ritorno
ESP+4	argomento#1, marcato in IDA come arg_0
ESP+8	argomento#2, marcato in IDA come arg_4
ESP+0xC	argomento#3, marcato in IDA come arg_8
...	...

1.9.4 Rumore nello stack

Quando qualcuno afferma che qualcosa sembra casuale, solitamente intende dire che è l'unico a non vederne la regolarità.

Stephen Wolfram, A New Kind of Science.

In questo libro si fa spesso riferimento a «rumore» o «spazzatura» (garbage) nello stack o in memoria. Da dove arrivano? Si tratta di ciò che resta dopo l'esecuzione di altre funzioni. Un piccolo esempio:

```
#include <stdio.h>

void f1()
{
    int a=1, b=2, c=3;
};

void f2()
{
    int a, b, c;
    printf ("%d, %d, %d\n", a, b, c);
};

int main()
{
```



```

    f1();
    f2();
};

```

Compilando si ottiene:

Listing 1.43: Senza ottimizzazione MSVC 2010

```

$SG2752 DB      '%d, %d, %d', 0aH, 00H

_c$ = -12      ; size = 4
_b$ = -8      ; size = 4
_a$ = -4      ; size = 4
_f1 PROC
    push      ebp
    mov       ebp, esp
    sub       esp, 12
    mov       DWORD PTR _a$[ebp], 1
    mov       DWORD PTR _b$[ebp], 2
    mov       DWORD PTR _c$[ebp], 3
    mov       esp, ebp
    pop       ebp
    ret       0
_f1 ENDP

_c$ = -12      ; size = 4
_b$ = -8      ; size = 4
_a$ = -4      ; size = 4
_f2 PROC
    push      ebp
    mov       ebp, esp
    sub       esp, 12
    mov       eax, DWORD PTR _c$[ebp]
    push      eax
    mov       ecx, DWORD PTR _b$[ebp]
    push      ecx
    mov       edx, DWORD PTR _a$[ebp]
    push      edx
    push      OFFSET $SG2752 ; '%d, %d, %d'
    call      DWORD PTR __imp__printf
    add       esp, 16
    mov       esp, ebp
    pop       ebp
    ret       0
_f2 ENDP

_main PROC
    push      ebp
    mov       ebp, esp
    call      _f1
    call      _f2
    xor       eax, eax
    pop       ebp
    ret       0

```

```
_main    ENDP
```

Il compilatore si lamenterà un pochino...

```
c:\Polygon\c>cl st.c /Fast.asm /MD
Microsoft (R) 32-bit C/C++ Optimizing Compiler Version 16.00.40219.01 for x
  ↳ 80x86
Copyright (C) Microsoft Corporation. All rights reserved.

st.c
c:\polygon\c\st.c(11) : warning C4700: uninitialized local variable 'c' x
  ↳ used
c:\polygon\c\st.c(11) : warning C4700: uninitialized local variable 'b' x
  ↳ used
c:\polygon\c\st.c(11) : warning C4700: uninitialized local variable 'a' x
  ↳ used
Microsoft (R) Incremental Linker Version 10.00.40219.01
Copyright (C) Microsoft Corporation. All rights reserved.

/out:st.exe
st.obj
```

Ma quando avvieremo il programma ...

```
c:\Polygon\c>st
1, 2, 3
```

Oh, che cosa strana! Non abbiamo impostato il valore di alcuna variabile in `f2()`. Si tratta di valori «fantasma», che si trovano ancora nello stack.

Carichiamo l'esempio in OllyDbg:

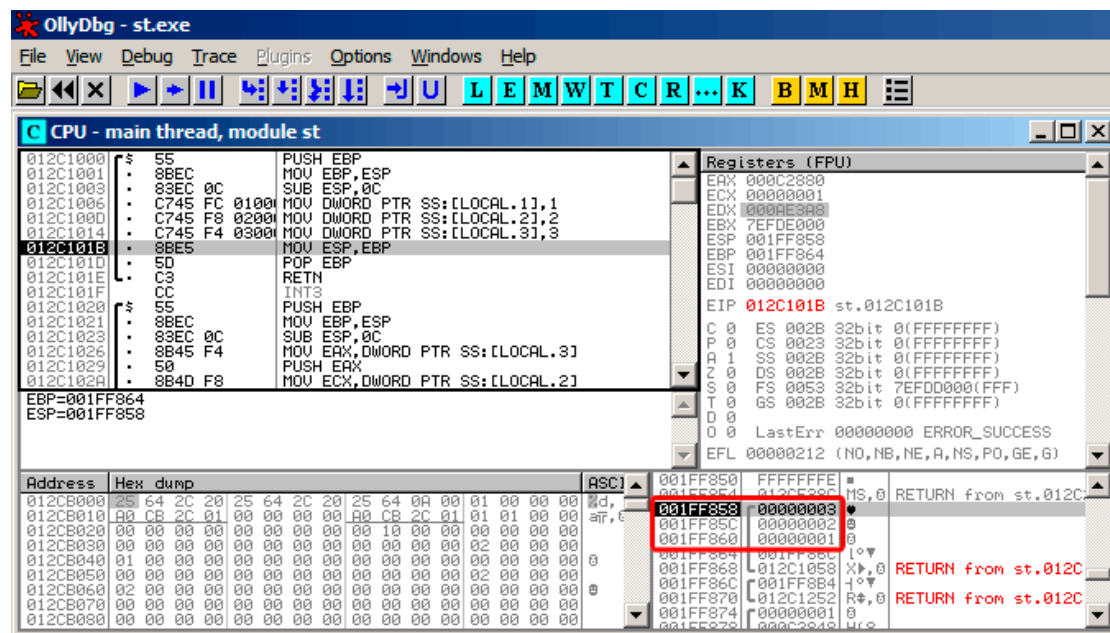


Figura 1.6: OllyDbg: f1()

Quando f1() assegna le variabili *a*, *b* e *c*, i loro valori sono memorizzati all'indirizzo 0x1FF860 e seguenti.

E quando viene eseguita `f2()`:

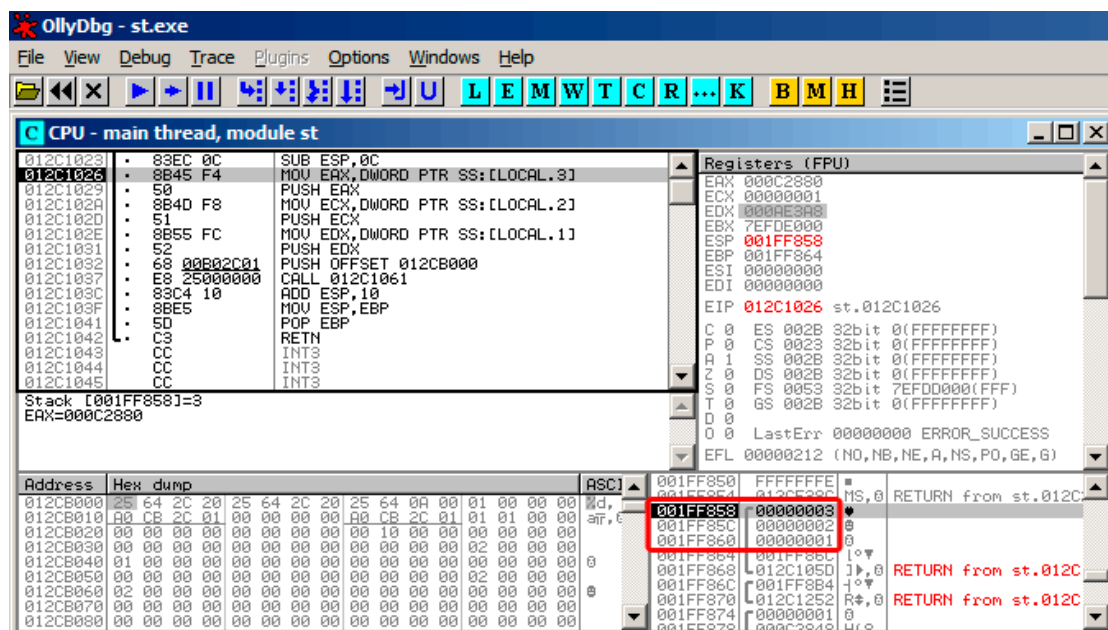


Figura 1.7: OllyDbg: `f2()`

... *a*, *b* e *c* di `f2()` si trovano agli stessi indirizzi! Nessuno ha ancora sovrascritto quei valori, quindi in quel punto sono ancora intatti. Quindi, affinché questa strana situazione si verifichi, più funzioni devono essere chiamate una dopo l'altra e **SP!** deve essere uguale ad ogni ingresso nella funzione (ovvero le funzioni devono avere lo stesso numero di argomenti). A quel punto le variabili locali si troveranno nelle stesse posizioni nello stack. Per riassumere, tutti i valori nello stack (e nelle celle di memoria in generale) hanno valori lasciati lì dall'esecuzione di funzioni precedenti. Non sono letteralmente casuali, piuttosto hanno valori non predicibili. C'è un'altra opzione? Sarebbe possibile ripulire porzioni dello stack prima di ogni esecuzione di una funzione, ma sarebbe un lavoro extra probabilmente inutile.

MSVC 2013

L'esempio è stato compilato con MSVC 2010. Un lettore di questo libro ha provato a compilare l'esempio con MSVC 2013, lo ha eseguito, ed ha ottenuto i 3 numeri in ordine inverso:

```
c:\Polygon\c>st
3, 2, 1
```

Perché? Ho compilato anche io l'esempio in MSVC 2013 ed ho visto questo:

Listing 1.44: MSVC 2013

```

_a$ = -12      ; dimensione = 4
_b$ = -8      ; dimensione = 4
_c$ = -4      ; dimensione = 4
_f2 PROC

...

_f2 ENDP

_c$ = -12      ; dimensione = 4
_b$ = -8      ; dimensione = 4
_a$ = -4      ; dimensione = 4
_f1 PROC

...

_f1 ENDP

```

Contrariamente a MSVC 2010, MSVC 2013 ha allocato le variabili a/b/c nella funzione f2() in ordine inverso. E ciò è del tutto corretto, perchè lo standard C/C++ non ha una regola che definisce in quale ordine le variabili locali devono essere allocate nello stack. La ragione per cui si presenta questa differenza è che MSVC 2010 lo fa in un certo modo, mentre MSVC 2013 ha probabilmente subito modifiche all'interno del compilatore, e si comporta quindi in modo leggermente diverso.

1.9.5 Esercizi

- <http://challenges.re/51>
- <http://challenges.re/52>

1.10 Una funzione quasi vuota

Questo è un vero pezzo di codice che ho trovato in Boolector⁶⁹:

```

// forward declaration. the function is residing in some other module:
int boolector_main (int argc, char **argv);

// executable
int main (int argc, char **argv)
{
    return boolector_main (argc, argv);
}

```

Perchè qualcuno dovrebbe farlo? Non lo so, ma la mia ipotesi migliore è che boolector_main() potrebbe essere compilata in qualche sorta di DLL o libreria dinamica, ed essere chiamata da una suite di test. Sicuramente, una suite di test può preparare variabili argc/argv come farebbe CRT.

⁶⁹<https://boolector.github.io/>

E' abbastanza interessante come viene compilato:

Listing 1.45: Senza ottimizzazione GCC 8.2 x64 (risultato dell'assembly)

```
main:
    push    rbp
    mov     rbp, rsp
    sub     rsp, 16
    mov     DWORD PTR -4[rbp], edi
    mov     QWORD PTR -16[rbp], rsi
    mov     rdx, QWORD PTR -16[rbp]
    mov     eax, DWORD PTR -4[rbp]
    mov     rsi, rdx
    mov     edi, eax
    call    boolector_main
    leave
    ret
```

Questo è OK, prologo, non necessario (non ottimizzato) scambio dei due argomenti CALL, epilogo, RET. Ma guardiamo la versione ottimizzata:

Listing 1.46: Con ottimizzazione GCC 8.2 x64 (risultato dell'assembly)

```
main:
    jmp     boolector_main
```

Così semplice che: stack/registri non vengono toccati e boolector_main() ha gli stessi argomenti settati. Quindi tutto ciò che dobbiamo fare è passare l'esecuzione ad un altro indirizzo.

Questo è molto simile alla [Funzione thunk](#).

Vedremo qualcosa di più avanzato dopo: [1.11.2 on page 73](#), [1.21.1 on page 201](#).

1.11 printf() con più argomenti

Estendiamo l'esempio *Hello, world!* ([1.5 on page 12](#)) sostituendo la chiamata a printf() nella funzione main() con quanto segue:

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    printf("a=%d; b=%d; c=%d", 1, 2, 3);
    return 0;
};
```

1.11.1 x86

x86: 3 argomenti

MSVC

Quando compiliamo l'esempio con MSVC 2010 Express otteniamo:

```
$SG3830 DB      'a=%d; b=%d; c=%d', 00H
...
        push    3
        push    2
        push    1
        push    OFFSET $SG3830
        call    _printf
        add     esp, 16                                ; 00000010H
```

Notiamo che gli argomenti di `printf()` sono messi sullo stack in ordine inverso. Il primo argomento è quello inserito per ultimo.

A proposito, le variabili di tipo *int* in ambienti a 32-bit hanno dimensione pari a 32-bit, ovvero 4 byte.

Abbiamo 4 argomenti, quindi $4 * 4 = 16$ —occupano esattamente 16 byte nello stack: un puntatore da 32 bit alla stringa, e 3 numeri di tipo *int*.

Quando lo [stack pointer](#) (registro ESP) viene ripristinato dall'istruzione `ADD ESP, X` dopo una chiamata a funzione, in molti casi, il numero di argomenti della funzione può essere dedotto semplicemente dividendo X per 4.

Questa caratteristica è propria solo della calling convention *cdecl* ed in ambienti a 32 bit.

Si veda anche la sezione sulle calling conventions ([?? on page ??](#)).

In certi casi, quando diverse funzioni ritornano una dopo l'altra, il compilatore potrebbe accorpare più istruzioni «`ADD ESP, X`» dopo l'ultima chiamata, emettendo una sola istruzione:

```
push a1
push a2
call ...
...
push a1
call ...
...
push a1
push a2
push a3
call ...
add esp, 24
```

Ecco un esempio reale:

Listing 1.47: x86

```
.text:100113E7  push    3
.text:100113E9  call    sub_100018B0 ; prende un argomento (3)
.text:100113EE  call    sub_100019D0 ; non prende nessun argomento
.text:100113F3  call    sub_10006A90 ; non prende nessun argomento
```

.text:100113F8	push	1	
.text:100113FA	call	sub_100018B0	; prende un argomento (1)
.text:100113FF	add	esp, 8	; rilascia due argomenti dallo stack
in una volta sola			

MSVC e OllyDbg

Proviamo ora ad esaminare l'esempio con OllyDbg. Si tratta di uno dei più popolari debugger per win32 in user-land. Possiamo compilare l'esempio in MSVC 2012 con l'opzione /MD, che indica al compilatore di linkare con MSVCR*.DLL, in maniera tale da poter vedere in modo chiaro, nel debugger, le funzioni importate.

Carichiamo quindi l'eseguibile in OllyDbg. Il primo breakpoint avviene in ntdll.dll, premiamo F9 (run) per continuare l'esecuzione. Il secondo breakpoint è nel codice CRT. Ora dobbiamo trovare la funzione main().

Per farlo scorriamo il codice verso l'alto (MSVC alloca la funzione main() proprio all'inizio della sezione code):

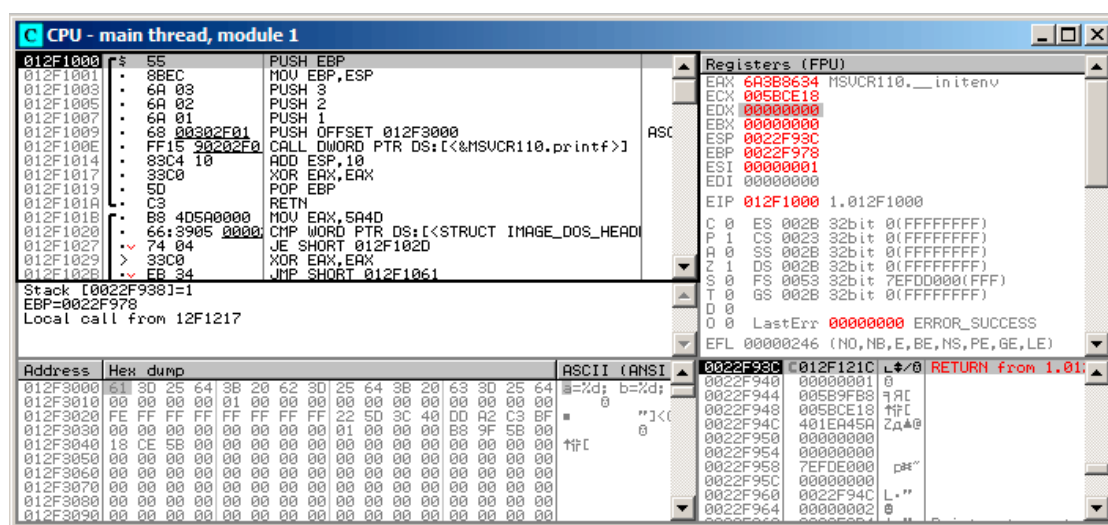


Figura 1.8: OllyDbg: l'inizio della funzione main()

Clickiamo sull'istruzione PUSH EBP, premiamo F2 (set breakpoint) e quindi F9 (run). Queste azioni ci consentono di saltare tutta la parte legata al codice CRT, in quanto per il momento non ci interessa.

Premiamo F8 (step over) per 6 volte, ovvero saltiamo (avanziamo di) 6 istruzioni:

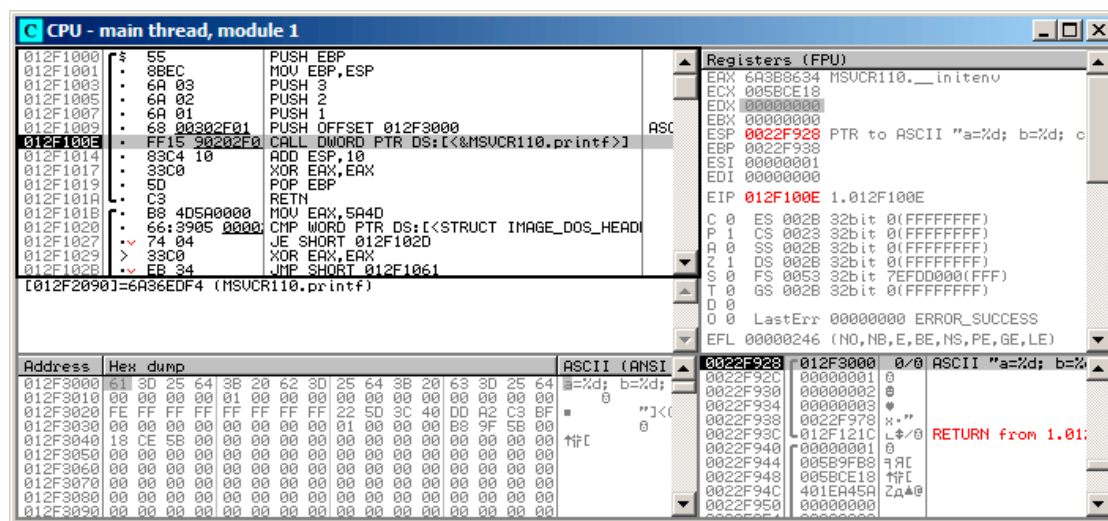


Figura 1.9: OllyDbg: prima dell'esecuzione di printf()

Adesso il **PC!** punta all'istruzione CALL printf. OllyDbg, come altri debugger, evidenzia il valore dei registri che sono stati modificati. Quindi ogni volta che si preme F8, EIP cambia ed il suo valore è mostrato in rosso. Anche ESP cambia, poichè i valori degli argomenti vengono messi sullo stack.

Dove sono i valori messi nello stack? Diamo un'occhiata alla finestra del debugger in basso a destra:

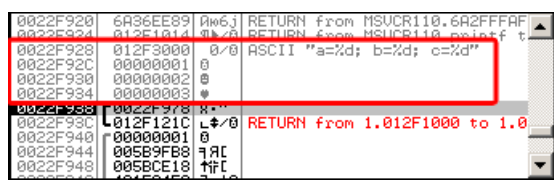


Figura 1.10: OllyDbg: stato dello stack dopo il push dei valori degli argomenti (il rettangolo rosso è stato aggiunto dall'autore per evidenziare la finestra)

Notiamo 3 colonne: indirizzo nello stack, valore nello stack ed alcuni commenti aggiuntivi di OllyDbg. OllyDbg riconosce le stringhe printf()-like, e riporta quindi la stringa insieme ai 3 valori *associati*.

Facendo click destro sulla stringa di formato, quindi click su «Follow in dump», è possibile vedere la format string nella finestra del debugger in basso a sinistra, che mostra una zona di memoria. I valori mostrati possono anche essere modificati. E' ad esempio possibile cambiare la format string, che renderebbe diverso il risultato

dell'esempio. Non è molto utile in questo particolare caso, ma può comunque essere un esercizio utile per iniziare a prendere dimestichezza con lo strumento.

Premiamo F8 (step over).

Il seguente output viene riportato in console:

a=1: b=2: c=3

Vediamo come sono cambiati i registri e lo stack:

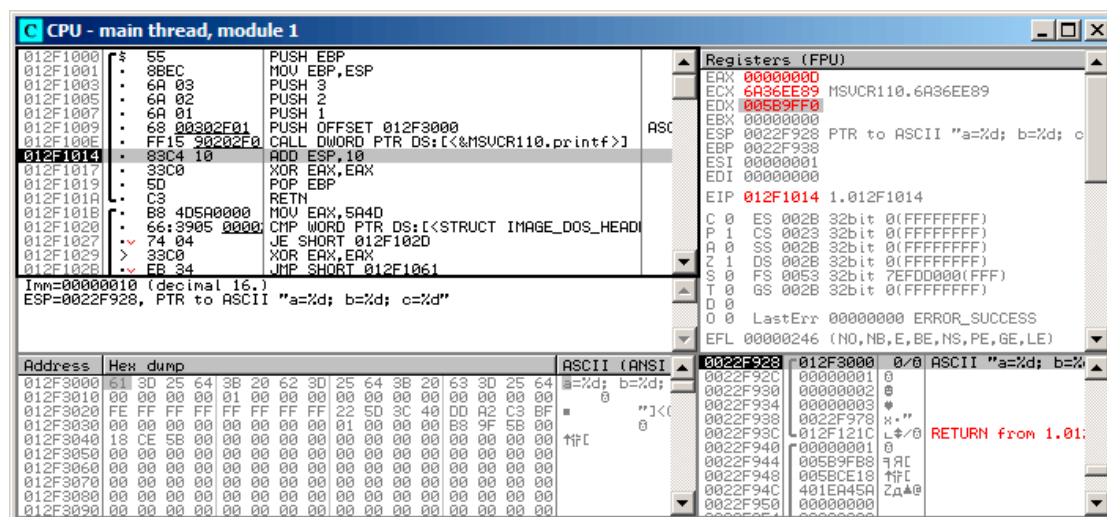


Figura 1.11: OllyDbg dopo dell'esecuzione di printf()

Il registro EAX adesso contiene 0xD (13). Questo valore è corretto, poichè `printf()` restituisce il numero di caratteri stampati. Il valore di EIP è cambiato: adesso contiene infatti l'indirizzo dell'istruzione che viene dopo `CALL printf`. Anche i valori di ECX e EDX sono cambiati. Apparentemente, i meccanismi interni alla funzione `printf()` hanno usato quei registri durante l'esecuzione di `printf`, per le sue necessità.

Un fatto molto importante è che né il valore di ESP né lo stack sono stati modificati! Vediamo chiaramente che la format string ed i suoi 3 valori si trovano ancora lì. Questo è infatti il comportamento della calling convention *cdecl*: il **chiamata** (la funzione chiamata) non ripristina ESP al suo valore precedente. Farlo è una responsabilità del **chiamante** (chiamante).

Premiamo F8 nuovamente per eseguire l'istruzione `ADD ESP, 10`:

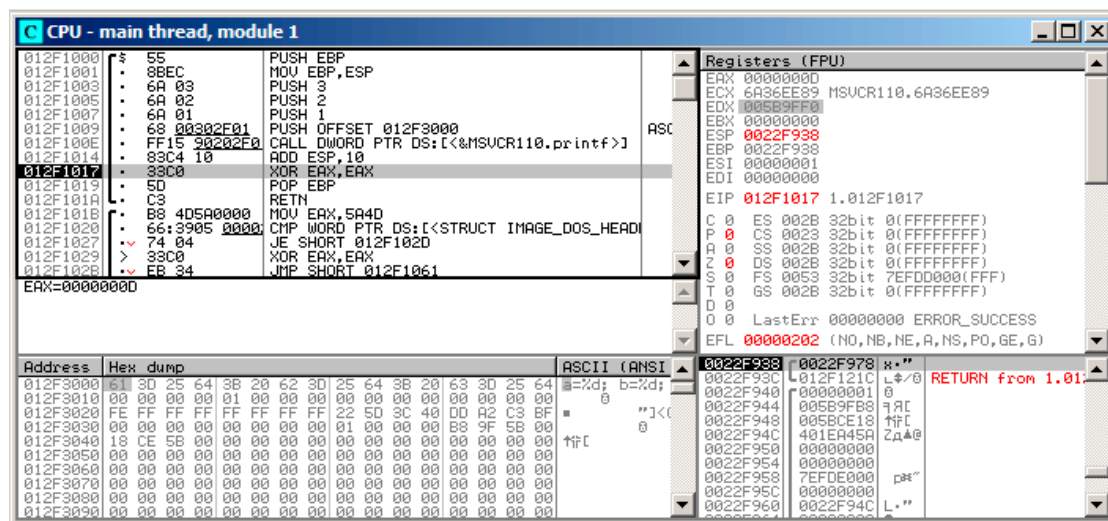


Figura 1.12: OllyDbg: dopo l'esecuzione dell'istruzione `ADD ESP, 10`

ESP è cambiato, ma i valori si trovano ancora sullo stack! Ovviamente sì: non c'è necessità di azzerare i valori o effettuare altre simili operazioni di "pulizia". Qualunque cosa si trovi sopra lo stack pointer (**SP!**) è *rumore* o *garbage* e non ha alcun significato. Pulire i valori non utilizzati nello stack sarebbe una perdita di tempo inutile, e non vi è alcuna necessità di farlo.

GCC

Compiliamo lo stesso programma su Linux usando GCC 4.4.1, e diamo un'occhiata al risultato con [IDA](#):

```
main      proc near

var_10    = dword ptr -10h
var_C     = dword ptr -0Ch
var_8     = dword ptr -8
var_4     = dword ptr -4

        push    ebp
        mov     ebp, esp
        and     esp, 0FFFFFFF0h
        sub     esp, 10h
        mov     eax, offset aADBDCD ; "a=%d; b=%d; c=%d"
        mov     [esp+10h+var_4], 3
        mov     [esp+10h+var_8], 2
        mov     [esp+10h+var_C], 1
        mov     [esp+10h+var_10], eax
```

```

                call    __printf
                mov     eax, 0
                leave
                retn
main            endp

```

Si nota che la differenza tra il codice prodotto da MSVC e GCC risiede soltanto nel modo in cui gli argomenti sono memorizzati sullo stack. In questo caso GCC lavora diversamente con lo stack, senza l'uso di PUSH/POP.

GCC e GDB

Proviamo l'esempio anche con [GDB⁷⁰](#) su Linux.

L'opzione `-g` indica al compilatore di includere le informazioni di debug nel file eseguibile.

```
$ gcc 1.c -g -o 1
```

```
$ gdb 1
GNU gdb (GDB) 7.6.1-ubuntu
...
Reading symbols from /home/dennis/polygon/1...done.
```

Listing 1.48: impostiamo un breakpoint su printf()

```
(gdb) b printf
Breakpoint 1 at 0x80482f0
```

Avviamolo. Non abbiamo il sorgente della funzione `printf()` qui, quindi [GDB](#) non può mostrarlo, anche se ne avrebbe la capacità.

```
(gdb) run
Starting program: /home/dennis/polygon/1

Breakpoint 1, __printf (format=0x80484f0 "a=%d; b=%d; c=%d") at printf.c:29
29      printf.c: No such file or directory.
```

Stampiamo 10 elementi dello stack. La colonna più a sinistra contiene gli indirizzi nello stack.

```
(gdb) x/10w $esp
0xbffff11c: 0x0804844a 0x080484f0 0x00000001 0x00000002
0xbffff12c: 0x00000003 0x08048460 0x00000000 0x00000000
0xbffff13c: 0xb7e29905 0x00000001
```

Il primo elemento è il [RA](#) (0x0804844a). Possiamo verificarlo disassemblando la memoria a questo indirizzo:

⁷⁰GNU Debugger

```
(gdb) x/5i 0x0804844a
0x0804844a <main+45>: mov    $0x0,%eax
0x0804844f <main+50>: leave
0x08048450 <main+51>: ret
0x08048451:  xchg    %ax,%ax
0x08048453:  xchg    %ax,%ax
```

Le due istruzioni XCHG sono istruzioni «inutili» (idle), analoghe a dei [NOP](#).

Il secondo elemento (0x080484f0) è l'indirizzo della format string:

```
(gdb) x/s 0x080484f0
0x080484f0:      "a=%d; b=%d; c=%d"
```

I successivi 3 elementi (1, 2, 3) sono gli argomenti di `printf()`. Il resto degli elementi potrebbe essere «immondizia» nello stack, oppure valori provenienti da altre funzioni, come le loro variabili locali, etc. Per il momento li possiamo ignorare.

Eseguiamo il comando «finish». Questo comando dice a GDB di «eseguire tutte le istruzioni fino alla fine della funzione». In questo caso: esegui fino alla fine di `printf()`.

```
(gdb) finish
Run till exit from #0  __printf (format=0x080484f0 "a=%d; b=%d; c=%d") at ↵
    ↵ printf.c:29
main () at 1.c:6
6          return 0;
Value returned is $2 = 13
```

[GDB](#) mostra il risultato di `printf()` restituito in EAX (13). Questo è il numero di caratteri stampati, proprio come nell'esempio in OllyDbg.

Vediamo anche «return 0;» e l'informazione che questa espressione si trova nel file 1.c alla riga 6. Infatti il file 1.c si trova nella directory corrente, e [GDB](#) trova la stringa lì. Come fa [GDB](#) a sapere quale riga del codice C viene eseguita? Ciò è dovuto al fatto che il compilatore, quando genera le informazioni di debug, salva anche una tabella di relazioni tra le righe del codice sorgente e gli indirizzi delle istruzioni. Dopotutto GDB è un «source-level debugger».

Esaminiamo i registri. 13 in EAX:

```
(gdb) info registers
eax          0xd          13
ecx          0x0          0
edx          0x0          0
ebx          0xb7fc0000    -1208221696
esp          0xbffff120    0xbffff120
ebp          0xbffff138    0xbffff138
esi          0x0          0
edi          0x0          0
eip          0x0804844a    0x0804844a <main+45>
...
```

Disassembliamo le istruzioni correnti. La freccia punta alla prossima istruzione da eseguire.

```
(gdb) disas
Dump of assembler code for function main:
0x0804841d <+0>:    push    %ebp
0x0804841e <+1>:    mov     %esp,%ebp
0x08048420 <+3>:    and     $0xffffffff0,%esp
0x08048423 <+6>:    sub     $0x10,%esp
0x08048426 <+9>:    movl    $0x3,0xc(%esp)
0x0804842e <+17>:   movl    $0x2,0x8(%esp)
0x08048436 <+25>:   movl    $0x1,0x4(%esp)
0x0804843e <+33>:   movl    $0x80484f0,(%esp)
0x08048445 <+40>:   call    0x80482f0 <printf@plt>
=> 0x0804844a <+45>:   mov     $0x0,%eax
0x0804844f <+50>:   leave
0x08048450 <+51>:   ret
End of assembler dump.
```

GDB usa la sintassi AT&T di default. Ma è anche possibile passare alla sintassi Intel:

```
(gdb) set disassembly-flavor intel
(gdb) disas
Dump of assembler code for function main:
0x0804841d <+0>:    push    ebp
0x0804841e <+1>:    mov     ebp,esp
0x08048420 <+3>:    and     esp,0xffffffff0
0x08048423 <+6>:    sub     esp,0x10
0x08048426 <+9>:    mov     DWORD PTR [esp+0xc],0x3
0x0804842e <+17>:   mov     DWORD PTR [esp+0x8],0x2
0x08048436 <+25>:   mov     DWORD PTR [esp+0x4],0x1
0x0804843e <+33>:   mov     DWORD PTR [esp],0x80484f0
0x08048445 <+40>:   call    0x80482f0 <printf@plt>
=> 0x0804844a <+45>:   mov     eax,0x0
0x0804844f <+50>:   leave
0x08048450 <+51>:   ret
End of assembler dump.
```

Eseguiamo la prossima istruzione. **GDB** mostra la parentesi graffa chiusa, che sta a significare la fine del blocco di codice.

```
(gdb) step
7      };
```

Esaminiamo i registri dopo l'esecuzione dell'istruzione MOV EAX, 0. EAX è zero a questo punto.

```
(gdb) info registers
eax            0x0          0
ecx            0x0          0
edx            0x0          0
ebx            0xb7fc0000    -1208221696
esp            0xbffff120    0xbffff120
```


ebp	0xbffff138	0xbffff138
esi	0x0	0
edi	0x0	0
eip	0x804844f	0x804844f <main+50>
...		

x64: 8 argomenti

Per vedere come altri argomenti sono passati tramite lo stack, cambiamo nuovamente l'esempio per aumentare il numero degli argomenti a 9 (format string di `printf()` + 8 variabili *int*):

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    printf("a=%d; b=%d; c=%d; d=%d; e=%d; f=%d; g=%d; h=%d\n", 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8);
    return 0;
};
```

MSVC

Come già detto in precedenza, i primi 4 argomenti devono essere passati tramite i registri RCX, RDX, R8, R9 in Win64, mentre tutto il resto —tramite lo stack. E' esattamente quello che vediamo qui. Tuttavia, l'istruzione `MOV instruction` è usata al posto di `PUSH` per preparare lo stack, in modo tale che i valori siano memorizzati nello stack in maniera diretta.

Listing 1.49: MSVC 2012 x64

```
$SG2923 DB      'a=%d; b=%d; c=%d; d=%d; e=%d; f=%d; g=%d; h=%d', 0aH, 00H

main    PROC
sub     rsp, 88

        mov     DWORD PTR [rsp+64], 8
        mov     DWORD PTR [rsp+56], 7
        mov     DWORD PTR [rsp+48], 6
        mov     DWORD PTR [rsp+40], 5
        mov     DWORD PTR [rsp+32], 4
        mov     r9d, 3
        mov     r8d, 2
        mov     edx, 1
        lea     rcx, OFFSET FLAT:$SG2923
        call    printf

        ; ritorna 0
        xor     eax, eax

        add     rsp, 88
```

```

main    ret    0
_TEXT   ENDP
        ENDS
        END

```

Il lettore attento potrebbe chiedere perchè per i valori *int* sono allocati 8 byte quando ne bastano 4? Bisogna ricordare che per ogni tipo di dato più piccolo di 64 bit, sono allocati 8 byte. Questo è stabilito per convenienza: rende più facile calcolare l'indirizzo di argomenti arbitrari. E inoltre fa sì che tutti siano allocati ad indirizzi di memoria allineati. Succede lo stesso in ambienti a 32-bit environments: sono riservati 4 byte per ogni tipo di dato.

GCC

L'immagine è simile per i sistemi operativi x86-64 e *NIX, con l'eccezione che i primi 6 argomenti sono passati attraverso i registri RDI, RSI, RDX, RCX, R8, R9 registers. Tutto il resto —tramite lo stack. GCC genera il codice memorizzando il puntatore alla stringa in EDI invece che RDI—lo abbiamo visto in precedenza: [1.5.2 on page 21](#).

Abbiamo anche notato prima che il registro EAX è stato azzerato prima di una chiamata a `printf()`: [1.5.2 on page 21](#).

Listing 1.50: Con ottimizzazione GCC 4.4.6 x64

```

.LC0:
    .string "a=%d; b=%d; c=%d; d=%d; e=%d; f=%d; g=%d; h=%d\n"

main:
    sub     rsp, 40

    mov     r9d, 5
    mov     r8d, 4
    mov     ecx, 3
    mov     edx, 2
    mov     esi, 1
    mov     edi, OFFSET FLAT:.LC0
    xor     eax, eax ; numero dei registri vettore passati
    mov     DWORD PTR [rsp+16], 8
    mov     DWORD PTR [rsp+8], 7
    mov     DWORD PTR [rsp], 6
    call    printf

    ; ritorna 0

    xor     eax, eax
    add     rsp, 40
    ret

```

GCC + GDB

Proviamo l'esempio in [GDB](#).

```
$ gcc -g 2.c -o 2
```

```
$ gdb 2
GNU gdb (GDB) 7.6.1-ubuntu
...
Reading symbols from /home/dennis/polygon/2...done.
```

Listing 1.51: impostiamo il breakpoint su `printf()`, e avviamo

```
(gdb) b printf
Breakpoint 1 at 0x400410
(gdb) run
Starting program: /home/dennis/polygon/2

Breakpoint 1, __printf (format=0x400628 "a=%d; b=%d; c=%d; d=%d; e=%d; f=%d; g=%d; h=%d\n") at printf.c:29
↳ ; g=%d; h=%d\n") at printf.c:29
29     printf.c: No such file or directory.
```

I registri RSI/RDX/RCX/R8/R9 hanno i valori previsti. RIP ha l'indirizzo della prima istruzione della funzione `printf()`.

```
(gdb) info registers
rax            0x0            0
rbx            0x0            0
rcx            0x3            3
rdx            0x2            2
rsi            0x1            1
rdi            0x400628 4195880
rbp            0x7fffffffdf60  0x7fffffffdf60
rsp            0x7fffffffdf38  0x7fffffffdf38
r8             0x4            4
r9             0x5            5
r10            0x7fffffffdfce0  140737488346336
r11            0x7ffff7a65f60  140737348263776
r12            0x400440 4195392
r13            0x7fffffffef040  140737488347200
r14            0x0            0
r15            0x0            0
rip            0x7ffff7a65f60  0x7ffff7a65f60 <__printf>
...
```

Listing 1.52: ispezioniamo la format string

```
(gdb) x/s $rdi
0x400628:      "a=%d; b=%d; c=%d; d=%d; e=%d; f=%d; g=%d; h=%d\n"
```

Effettuiamo un dump dello stack, questa volta con il comando `x/g` —*g* sta per *giant words*, ovvero 64-bit words.

```
(gdb) x/10g $rsp
0x7fffffffdf38: 0x0000000000400576      0x0000000000000006
```

0x7fffffffdf48: 0x0000000000000007	0x00007fff00000008
0x7fffffffdf58: 0x0000000000000000	0x0000000000000000
0x7fffffffdf68: 0x00007ffff7a33de5	0x0000000000000000
0x7fffffffdf78: 0x00007fffffe048	0x0000000100000000

Il primo elemento dello stack, proprio come nel caso precedente, è il RA. 3 valori vengono passati tramite lo stack: 6, 7, 8. Notiamo anche che 8 è passato nei 32-bit alti non azzerati: 0x00007fff00000008. Ciò va bene, perché i valori hanno tipo *int*, che è a 32-bit. Quindi, i registri alti o gli elementi alti dello stack potrebbero contenere «random garbage».

Se andiamo a vedere dove viene restituito il controllo dopo l'esecuzione di `printf()`, **GDB** mostrerà l'intera funzione `main()`:

```
(gdb) set disassembly-flavor intel
(gdb) disas 0x0000000000400576
Dump of assembler code for function main:
   0x000000000040052d <+0>:    push    rbp
   0x000000000040052e <+1>:    mov     rbp, rsp
   0x0000000000400531 <+4>:    sub     rsp, 0x20
   0x0000000000400535 <+8>:    mov     DWORD PTR [rsp+0x10], 0x8
   0x000000000040053d <+16>:   mov     DWORD PTR [rsp+0x8], 0x7
   0x0000000000400545 <+24>:   mov     DWORD PTR [rsp], 0x6
   0x000000000040054c <+31>:   mov     r9d, 0x5
   0x0000000000400552 <+37>:   mov     r8d, 0x4
   0x0000000000400558 <+43>:   mov     ecx, 0x3
   0x000000000040055d <+48>:   mov     edx, 0x2
   0x0000000000400562 <+53>:   mov     esi, 0x1
   0x0000000000400567 <+58>:   mov     edi, 0x400628
   0x000000000040056c <+63>:   mov     eax, 0x0
   0x0000000000400571 <+68>:   call    0x400410 <printf@plt>
   0x0000000000400576 <+73>:   mov     eax, 0x0
   0x000000000040057b <+78>:   leave
   0x000000000040057c <+79>:   ret
End of assembler dump.
```

Finiamo di eseguire `printf()`, eseguiamo l'istruzione che azzerava EAX, e notiamo che il registro EAX ha esattamente il valore zero. RIP adesso punta all'istruzione `LEAVE`, ovvero la penultima nella funzione `main()`.

```
(gdb) finish
Run till exit from #0  __printf (format=0x400628 "a=%d; b=%d; c=%d; d=%d; e=
↳ =%d; f=%d; g=%d; h=%d\n") at printf.c:29
a=1; b=2; c=3; d=4; e=5; f=6; g=7; h=8
main () at 2.c:6
6      return 0;
Value returned is $1 = 39
(gdb) next
7      };
(gdb) info registers
rax                0x0      0
rbx                0x0      0
rcx                0x26     38
```

rdx	0x7ffff7dd59f0	140737351866864
rsi	0x7fffffd9	2147483609
rdi	0x0 0	
rbp	0x7ffffffffffdf60	0x7ffffffffffdf60
rsp	0x7ffffffffffdf40	0x7ffffffffffdf40
r8	0x7ffff7dd26a0	140737351853728
r9	0x7ffff7a60134	140737348239668
r10	0x7ffffffffffd5b0	140737488344496
r11	0x7ffff7a95900	140737348458752
r12	0x400440 4195392	
r13	0x7ffffffffffe040	140737488347200
r14	0x0 0	
r15	0x0 0	
rip	0x40057b 0x40057b	<main+78>
...		

1.11.2 ARM

ARM: 3 argomenti

Lo schema tradizionale per il passaggio di argomenti (calling convention) di ARM si comporta in questo modo: i primi 4 argomenti vengono passati attraverso i registri R0-R3, i restanti attraverso lo stack. Ciò ricorda molto il metodo per il passaggio di argomenti in fastcall (?? on page ??) o win64 (?? on page ??).

32-bit ARM

Senza ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

Listing 1.53: Senza ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

```
.text:00000000 main
.text:00000000 10 40 2D E9   STMFD    SP!, {R4,LR}
.text:00000004 03 30 A0 E3   MOV     R3, #3
.text:00000008 02 20 A0 E3   MOV     R2, #2
.text:0000000C 01 10 A0 E3   MOV     R1, #1
.text:00000010 08 00 8F E2   ADR     R0, aADBDCD      ; "a=%d; b=%d; c=%d"
.text:00000014 06 00 00 EB   BL     __2printf
.text:00000018 00 00 A0 E3   MOV     R0, #0           ; ritorna 0
.text:0000001C 10 80 BD E8   LDMFD    SP!, {R4,PC}
```

I primi 4 argomenti sono quindi passati attraverso i registri R0-R3 nel seguente ordine: un puntatore alla format string di `printf()` in R0, 1 in R1, 2 in R2 e 3 in R3. L'istruzione a 0x18 scrive 0 in R0—questo equivale allo statement C *return 0*. Niente di insolito fino a qui.

Con ottimizzazione Keil 6/2013 genera lo stesso codice.

Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)

Listing 1.54: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)

```
.text:00000000 main
.text:00000000 10 B5          PUSH    {R4,LR}
.text:00000002 03 23          MOVS    R3, #3
.text:00000004 02 22          MOVS    R2, #2
.text:00000006 01 21          MOVS    R1, #1
.text:00000008 02 A0          ADR     R0, aADBDCD      ; "a=%d; b=%d; c=%d"
.text:0000000A 00 F0 0D F8      BL      __2printf
.text:0000000E 00 20          MOVS    R0, #0
.text:00000010 10 BD          POP     {R4,PC}
```

Non c'è nessuna differenza significativa nel codice non ottimizzato per modo ARM.

Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM) + rimozione di return

Modifichiamo leggermente l'esempio rimuovendo *return 0*:

```
#include <stdio.h>

void main()
{
    printf("a=%d; b=%d; c=%d", 1, 2, 3);
};
```

Il risultato è alquanto insolito:

Listing 1.55: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

```
.text:00000014 main
.text:00000014 03 30 A0 E3      MOV     R3, #3
.text:00000018 02 20 A0 E3      MOV     R2, #2
.text:0000001C 01 10 A0 E3      MOV     R1, #1
.text:00000020 1E 0E 8F E2      ADR     R0, aADBDCD      ; "a=%d; b=%d; c=%d\n"
.text:00000024 CB 18 00 EA      B      __2printf
```

Questa è la versione ottimizzata (-O3) per ARM mode e stavolta notiamo B come ultima istruzione, al posto della familiare BL. Un'altra differenza tra questa versione ottimizzata e la precedente (compilata senza ottimizzazione) è la mancanza di prologo ed epilogo della funzione (le istruzioni che preservano i valori dei registri R0 e LR). L'istruzione B salta semplicemente ad un altro indirizzo, senza alcuna manipolazione del registro LR, in modo simile a JMP in x86. Perché funziona? Perché questo codice è infatti equivalente al precedente. Principalmente per due motivi: 1) né lo stack né **SP!** (lo [stack pointer](#)) vengono modificati; 2) la chiamata a `printf()` è l'ultima istruzione, quindi non succede niente dopo di essa. Al completamento, `printf()` restituisce semplicemente il controllo all'indirizzo memorizzato in LR. Poiché LR attualmente contiene l'indirizzo del punto da cui la nostra funzione era stata chiamata, il controllo verrà restituito da `printf()` a quello stesso punto. Pertanto non c'è alcun

bisogno di salvare **LR** in quanto non abbiamo necessità di modificare **LR**. E non vogliamo affatto modificare **LR** poichè non ci sono altre chiamate a funzione ad eccezione di `printf()`. Inoltre, dopo questa chiamata non abbiamo nient'altro da fare! Queste sono le ragioni per cui una simile ottimizzazione è possibile.

Questa ottimizzazione è spesso usata in funzioni in cui l'ultimo statement è una chiamata ad un'altra funzione. Un esempio simile è fornito di seguito: [1.21.1 on page 202](#).

ARM64

Senza ottimizzazione GCC (Linaro) 4.9

Listing 1.56: Senza ottimizzazione GCC (Linaro) 4.9

```
.LC1:
    .string "a=%d; b=%d; c=%d"
f2:
; salva FP e LR nello stack frame:
    stp    x29, x30, [sp, -16]!
; imposta lo stack frame (FP=SP):
    add    x29, sp, 0
    adrp   x0, .LC1
    add    x0, x0, :lo12:.LC1
    mov    w1, 1
    mov    w2, 2
    mov    w3, 3
    bl     printf
    mov    w0, 0
; ripristina FP e LR
    ldp    x29, x30, [sp], 16
    ret
```

La prima istruzione **STP** (*Store Pair*) salva **FP** (X29) e **LR** (X30) nello stack. La seconda istruzione **ADD** X29, SP, 0 forma lo stack frame. Scrive semplicemente il valore di **SP!** in X29.

Successivamente vediamo la familiare coppia di istruzioni **ADRP/ADD**, che forma un puntatore alla stringa. *lo12* indica 12 bit bassi (low 12 bits), ovvero, il linker scriverà i 12 bit bassi dell'indirizzo di LC1 nell'opcode dell'istruzione **ADD**. %d nella format string di `printf()` è un *int* a 32-bit, quindi i valori 1, 2 e 3 sono caricati nelle parti a 32-bit dei registri.

Con ottimizzazione GCC (Linaro) 4.9 genera lo stesso codice.

ARM: 8 argomenti

Usiamo nuovamente l'esempio con 9 argomenti della sezione precedente: [1.11.1 on page 68](#).

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    printf("a=%d; b=%d; c=%d; d=%d; e=%d; f=%d; g=%d; h=%d\n", 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8);
    return 0;
};
```

Con ottimizzazione Keil 6/2013: Modalità ARM

```
.text:00000028      main
.text:00000028
.text:00000028      var_18 = -0x18
.text:00000028      var_14 = -0x14
.text:00000028      var_4  = -4
.text:00000028
.text:00000028 04 E0 2D E5  STR    LR, [SP,#var_4]!
.text:0000002C 14 D0 4D E2  SUB     SP, SP, #0x14
.text:00000030 08 30 A0 E3  MOV     R3, #8
.text:00000034 07 20 A0 E3  MOV     R2, #7
.text:00000038 06 10 A0 E3  MOV     R1, #6
.text:0000003C 05 00 A0 E3  MOV     R0, #5
.text:00000040 04 C0 8D E2  ADD     R12, SP, #0x18+var_14
.text:00000044 0F 00 8C E8  STMIA   R12, {R0-R3}
.text:00000048 04 00 A0 E3  MOV     R0, #4
.text:0000004C 00 00 8D E5  STR     R0, [SP,#0x18+var_18]
.text:00000050 03 30 A0 E3  MOV     R3, #3
.text:00000054 02 20 A0 E3  MOV     R2, #2
.text:00000058 01 10 A0 E3  MOV     R1, #1
.text:0000005C 6E 0F 8F E2  ADR     R0, aADBDCDDDEDFDGD ; "a=%d; b=%d; c=%d;
    d=%d; e=%d; f=%d; g=%"...
.text:00000060 BC 18 00 EB  BL     __2printf
.text:00000064 14 D0 8D E2  ADD     SP, SP, #0x14
.text:00000068 04 F0 9D E4  LDR     PC, [SP+4+var_4],#4
```

Il codice può essere diviso in più parti

- Preambolo della funzione:

La prima istruzione `STR LR, [SP,#var_4]!` salva **LR** sullo stack, poichè questo registro sarà usato per la chiamata a `printf()`. Il punto esclamativo all fine indica il *pre-index*.

Questo implica che **SP!** deve essere prima decrementato di 4, e successivamente **LR** sarà salvato all'indirizzo memorizzato in **SP!**. Tutto ciò è simile a `PUSH` in x86. Maggiori informazioni qui: ?? on page ??.

La seconda istruzione `SUB SP, SP, #0x14` decrementa **SP!** (lo **stack pointer**) per allocare 0x14 (20) byte sullo stack. Infatti dobbiamo passare 5 valori a 32-bit tramite lo stack per la funzione `printf()`, e ciascuno di essi occupa 4 byte,

che è esattamente $5 * 4 = 20$. Gli altri 4 valori a 32-bit saranno passati tramite registri.

- Passaggio di 5, 6, 7 e 8 tramite lo stack: sono memorizzati nei registri R0, R1, R2 e R3, rispettivamente.
Successivamente l'istruzione `ADD R12, SP, #0x18+var_14` scrive l'indirizzo dello stack, dove queste 4 variabili saranno memorizzate, nel registro R12. `var_14` è una macro assembly, uguale a `-0x14`, creata da IDA per visualizzare in maniera conveniente il codice che accede allo stack. Le macro `var_?` generate da IDA riflettono le variabili locali nello stack.
- Quindi, `SP+4` sarà memorizzato nel registro R12. L'istruzione successiva `STMIA R12, R0-R3` scrive il contenuto dei registri R0-R3 alla memoria puntata da R12. `STMIA` è abbreviazione per *Store Multiple Increment After*. *Increment After* (incrementa dopo) implica che R12 deve essere incrementato di 4 dopo ciascuna scrittura di un valore nei registri.
- Passaggio di 4 tramite lo stack: 4 è memorizzato in R0 e questo valore, con l'aiuto dell'istruzione `STR R0, [SP, #0x18+var_18]`, viene salvato sullo stack. `var_18` è `-0x18`, quindi l'offset deve essere 0, da cui il valore dal registro R0 (4) sarà scritto all'indirizzo memorizzato in **SP!**.
- Passaggio di 1, 2 e 3 tramite registri: I valori dei primi 3 numeri (a, b, c) (1, 2, 3 rispettivamente) sono passati attraverso i registri R1, R2 e R3 poco prima della chiamata a `printf()` call.
- chiamata a `printf()`.
- epilogo della funzione:

L'istruzione `ADD SP, SP, #0x14` ripristina il puntatore **SP!** al suo valore precedente, pulendo quindi lo stack. Ovviamente quello che era stato memorizzato nello stack rimarrà lì, e sarà probabilmente riscritto interamente durante l'esecuzione delle funzioni seguenti.

L'istruzione `LDR PC, [SP+4+var_4], #4` carica il valore di **LR** salvato dallo stack nel nel registro **PC!**, causando quindi l'uscita dalla funzione. Non c'è il punto esclamativo —infatti **PC!** è caricato prima dall'indirizzo memorizzato in **SP!** ($4 + var_4 = 4 + (-4) = 0$), questa istruzione è quindi analoga a `LDR PC, [SP], #4`), e successivamente **SP!** è incrementato di 4. Questo è detto *post-index*⁷¹. Perché IDA mostra l'istruzione in quel modo? Perché vuole illustrare il layout dello stack ed il fatto che `var_4` è allocata per salvare il valore di **LR** nello stack locale. Questa istruzione è più o meno simile a `POP PC` in x86⁷².

Con ottimizzazione Keil 6/2013: Modalità Thumb

<code>.text:0000001C</code>	<code>printf_main2</code>
<code>.text:0000001C</code>	
<code>.text:0000001C</code>	<code>var_18 = -0x18</code>
<code>.text:0000001C</code>	<code>var_14 = -0x14</code>

⁷¹Maggiori dettagli: ?? on page ??.

⁷²E' impossibile settare il valore di IP/EIP/RIP usando `POP` in x86, ma in ogni caso hai capito l'analogia.

```

.text:0000001C          var_8  = -8
.text:0000001C
.text:0000001C 00 B5      PUSH    {LR}
.text:0000001E 08 23      MOVS    R3, #8
.text:00000020 85 B0      SUB     SP, SP, #0x14
.text:00000022 04 93      STR     R3, [SP,#0x18+var_8]
.text:00000024 07 22      MOVS    R2, #7
.text:00000026 06 21      MOVS    R1, #6
.text:00000028 05 20      MOVS    R0, #5
.text:0000002A 01 AB      ADD     R3, SP, #0x18+var_14
.text:0000002C 07 C3      STMIA   R3!, {R0-R2}
.text:0000002E 04 20      MOVS    R0, #4
.text:00000030 00 90      STR     R0, [SP,#0x18+var_18]
.text:00000032 03 23      MOVS    R3, #3
.text:00000034 02 22      MOVS    R2, #2
.text:00000036 01 21      MOVS    R1, #1
.text:00000038 A0 A0      ADR     R0, aADBDCDDDEDFDGD ; "a=%d; b=%d; c=%d;
    d=%d; e=%d; f=%d; g=%"...
.text:0000003A 06 F0 D9 F8 BL      __2printf
.text:0000003E
.text:0000003E          loc_3E  ; CODE XREF: example13_f+16
.text:0000003E 05 B0      ADD     SP, SP, #0x14
.text:00000040 00 BD      POP     {PC}

```

L'output è quasi identico al precedente esempio. Tuttavia questo è codice Thumb e i valori sono disposti nello stack in modo differente: 8 per primo, quindi 5, 6, 7, e infine 4.

Con ottimizzazione Xcode 4.6.3 (LLVM): Modalità ARM

```

__text:0000290C          _printf_main2
__text:0000290C
__text:0000290C          var_1C = -0x1C
__text:0000290C          var_C  = -0xC
__text:0000290C
__text:0000290C 80 40 2D E9      STMFD   SP!, {R7,LR}
__text:00002910 0D 70 A0 E1      MOV     R7, SP
__text:00002914 14 D0 4D E2      SUB     SP, SP, #0x14
__text:00002918 70 05 01 E3      MOV     R0, #0x1570
__text:0000291C 07 C0 A0 E3      MOV     R12, #7
__text:00002920 00 00 40 E3      MOVT    R0, #0
__text:00002924 04 20 A0 E3      MOV     R2, #4
__text:00002928 00 00 8F E0      ADD     R0, PC, R0
__text:0000292C 06 30 A0 E3      MOV     R3, #6
__text:00002930 05 10 A0 E3      MOV     R1, #5
__text:00002934 00 20 8D E5      STR     R2, [SP,#0x1C+var_1C]
__text:00002938 0A 10 8D E9      STMFA   SP, {R1,R3,R12}
__text:0000293C 08 90 A0 E3      MOV     R9, #8
__text:00002940 01 10 A0 E3      MOV     R1, #1
__text:00002944 02 20 A0 E3      MOV     R2, #2
__text:00002948 03 30 A0 E3      MOV     R3, #3
__text:0000294C 10 90 8D E5      STR     R9, [SP,#0x1C+var_C]

```

```

__text:00002950 A4 05 00 EB    BL    _printf
__text:00002954 07 D0 A0 E1    MOV    SP, R7
__text:00002958 80 80 BD E8    LDMFD  SP!, {R7,PC}

```

Quasi lo stesso codice visto prima, ad eccezione dell'istruzione STMFA (Store Multiple Full Ascending), che è sinonimo di STMIB (Store Multiple Increment Before). Questa istruzione incrementa il valore nel registro **SP!** e solo successivamente scrive il prossimo valore del registro in memoria, invece che operare le due azioni in ordine inverso.

Un'altra cosa che salta all'occhio è che le istruzioni sono disposte in maniera apparentemente casuale. Ad esempio, il valore nel registro R0 è manipolato in tre posti diversi agli indirizzi 0x2918, 0x2920 e 0x2928, quando invece sarebbe stato possibile farlo in un punto solo.

Ad ogni modo, il compilatore ottimizzante avrà avuto le sue ragioni per ordinare le istruzioni in questa maniera ed ottenere una maggiore efficacia durante l'esecuzione del codice.

Solitamente il processore prova ad eseguire simultaneamente le istruzioni vicine. Ad esempio, istruzioni come MOVT R0, #0 e ADD R0, PC, R0 non possono essere eseguite simultaneamente poichè entrambe modificano il registro R0. D'altra parte, MOVT R0, #0 e MOV R2, #4 possono invece essere eseguite simultaneamente poichè l'effetto della loro esecuzione non genera conflitti tra loro. Presumibilmente, il compilatore prova a generare codice in questo modo (quando possibile).

Con ottimizzazione Xcode 4.6.3 (LLVM): Modalità Thumb-2

```

__text:00002BA0                                _printf_main2
__text:00002BA0
__text:00002BA0                                var_1C = -0x1C
__text:00002BA0                                var_18 = -0x18
__text:00002BA0                                var_C = -0xC
__text:00002BA0
__text:00002BA0 80 B5                PUSH    {R7,LR}
__text:00002BA2 6F 46                MOV     R7, SP
__text:00002BA4 85 B0                SUB     SP, SP, #0x14
__text:00002BA6 41 F2 D8 20          MOVW    R0, #0x12D8
__text:00002BAA 4F F0 07 0C          MOV.W   R12, #7
__text:00002BAE C0 F2 00 00          MOVT.W  R0, #0
__text:00002BB2 04 22                MOVS    R2, #4
__text:00002BB4 78 44                ADD     R0, PC ; char *
__text:00002BB6 06 23                MOVS    R3, #6
__text:00002BB8 05 21                MOVS    R1, #5
__text:00002BBA 0D F1 04 0E          ADD.W   LR, SP, #0x1C+var_18
__text:00002BBE 00 92                STR     R2, [SP,#0x1C+var_1C]
__text:00002BC0 4F F0 08 09          MOV.W   R9, #8
__text:00002BC4 8E E8 0A 10          STMIA.W LR, {R1,R3,R12}
__text:00002BC8 01 21                MOVS    R1, #1
__text:00002BCA 02 22                MOVS    R2, #2
__text:00002BCC 03 23                MOVS    R3, #3

```

__text:00002BCE	CD F8 10 90	STR.W	R9, [SP,#0x1C+var_C]
__text:00002BD2	01 F0 0A EA	BLX	_printf
__text:00002BD6	05 B0	ADD	SP, SP, #0x14
__text:00002BD8	80 BD	POP	{R7,PC}

L'output è quasi lo stesso dell'esempio precedente, ad eccezione dell'uso di istruzioni Thumb/Thumb-2.

ARM64

Senza ottimizzazione GCC (Linaro) 4.9

Listing 1.57: Senza ottimizzazione GCC (Linaro) 4.9

```
.LC2:
    .string "a=%d; b=%d; c=%d; d=%d; e=%d; f=%d; g=%d; h=%d\n"
f3:
; prende più spazio nello stack:
    sub    sp, sp, #32
; salva FP e LR nello stack frame:
    stp    x29, x30, [sp,16]
; imposta stack frame (FP=SP+16):
    add    x29, sp, 16
    adrp   x0, .LC2 ; "a=%d; b=%d; c=%d; d=%d; e=%d; f=%d; g=%d; h=%d\n"
    add    x0, x0, :lo12:.LC2
    mov    w1, 8      ; 9° argomento
    str    w1, [sp]    ; salva 9° argomento nello stack
    mov    w1, 1
    mov    w2, 2
    mov    w3, 3
    mov    w4, 4
    mov    w5, 5
    mov    w6, 6
    mov    w7, 7
    bl     printf
    sub    sp, x29, #16
; ripristina FP e LR
    ldp    x29, x30, [sp,16]
    add    sp, sp, 32
    ret
```

I primi 8 argomenti sono passati nei registri X- o W-: [Procedure Call Standard for the ARM 64-bit Architecture (AArch64), (2013)]⁷³. Un puntatore ad una string richiede un registro a 64-bit, quindi è passato in X0. Tutti gli altri valori hanno tipo *int* a 32-bit, quindi sono memorizzati nella parte a 32-bit dei registri (W-). Il nono argomento (8) è passato tramite lo stack. Infatti non è possibile passare un grande numero di argomenti tramite registri, in quanto il loro numero è limitato.

⁷³ Italian text placeholder http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.ihl0055b/IHI0055B_aapcs64.pdf

Con ottimizzazione GCC (Linaro) 4.9 genera lo stesso codice.

1.11.3 MIPS

3 argomenti

Con ottimizzazione GCC 4.4.5

La differenza principale con l'esempio «Hello, world!» è che in questo caso `printf()` è chiamata al posto di `puts()`, e 3 argomenti aggiuntivi sono passati attraverso i registri `$5...$7` (o `$A0...$A2`). Questo è il motivo per cui questi registri hanno il prefisso `A-`, che implica il loro uso per il passaggio di argomenti di funzioni.

Listing 1.58: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (risultato dell'assembly)

```
$LC0:
    .ascii  "a=%d; b=%d; c=%d\000"
main:
; prologo funzione:
    lui    $28,%hi(__gnu_local_gp)
    addiu  $sp,$sp,-32
    addiu  $28,$28,%lo(__gnu_local_gp)
    sw     $31,28($sp)
; carica l'indirizzo di printf():
    lw     $25,%call16(printf)($28)
; carica l'indirizzo della stringa di testo e imposta il 1° argomento di
printf():
    lui    $4,%hi($LC0)
    addiu  $4,$4,%lo($LC0)
; imposta il 2° argomento di printf():
    li     $5,1                # 0x1
; imposta il 3° argomento di printf():
    li     $6,2                # 0x2
; chiama printf():
    jalr   $25
; imposta il 4° argomento di printf() (branch delay slot):
    li     $7,3                # 0x3

; epilogo funzione:
    lw     $31,28($sp)
; imposta il valore di ritorno a 0:
    move   $2,$0
; ritorna
    j      $31
    addiu  $sp,$sp,32 ; branch delay slot
```

Listing 1.59: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```
.text:00000000 main:
.text:00000000
.text:00000000 var_10      = -0x10
.text:00000000 var_4       = -4
.text:00000000
```

```

; prologo funzione:
.text:00000000      lui      $gp, (__gnu_local_gp >> 16)
.text:00000004      addiu    $sp, -0x20
.text:00000008      la       $gp, (__gnu_local_gp & 0xFFFF)
.text:0000000C      sw       $ra, 0x20+var_4($sp)
.text:00000010      sw       $gp, 0x20+var_10($sp)
; carica l'indirizzo di printf():
.text:00000014      lw       $t9, (printf & 0xFFFF)($gp)
; carica l'indirizzo della stringa di testo e imposta il 1° argomento di
; printf():
.text:00000018      la       $a0, $LC0          # "a=%d; b=%d; c=%d"
; imposta il 2° argomento di printf():
.text:00000020      li       $a1, 1
; imposta il 3° argomento di printf():
.text:00000024      li       $a2, 2
; chiama printf():
.text:00000028      jalr     $t9
; imposta il 4° argomento di printf() (branch delay slot):
.text:0000002C      li       $a3, 3
; prologo funzione:
.text:00000030      lw       $ra, 0x20+var_4($sp)
; imposta il valore di ritorno a 0:
.text:00000034      move     $v0, $zero
; return
.text:00000038      jr       $ra
.text:0000003C      addiu    $sp, 0x20 ; branch delay slot

```

IDA ha fuso le coppie di istruzioni LUI e ADDIU in una unica pseudoistruzione LA. Questo è il motivo per cui non c'è nessuna istruzione all'indirizzo 0x1C: perchè LA occupa 8 byte.

Senza ottimizzazione GCC 4.4.5

Senza ottimizzazione GCC è più verboso:

Listing 1.60: Senza ottimizzazione GCC 4.4.5 (risultato dell'assembly)

```

$LC0:
    .ascii "a=%d; b=%d; c=%d\000"
main:
; prologo funzione:
    addiu    $sp,$sp,-32
    sw       $31,28($sp)
    sw       $fp,24($sp)
    move     $fp,$sp
    lui      $28,%hi(__gnu_local_gp)
    addiu    $28,$28,%lo(__gnu_local_gp)
; carica l'indirizzo della stringa di testo:
    lui      $2,%hi($LC0)
    addiu    $2,$2,%lo($LC0)
; imposta il 1° argomento di printf():
    move     $4,$2
; imposta il 2° argomento di printf():

```

```

        li      $5,1                # 0x1
; imposta il 3° argomento di printf():
        li      $6,2                # 0x2
; imposta il 4° argomento di printf():
        li      $7,3                # 0x3
; prendi l'indirizzo di printf():
        lw      $2,%call16(printf)($28)
        nop
; chiama printf():
        move    $25,$2
        jalr    $25
        nop

; epilogo funzione:
        lw      $28,16($fp)
; imposta il valore di ritorno a 0:
        move    $2,$0
        move    $sp,$fp
        lw      $31,28($sp)
        lw      $fp,24($sp)
        addiu   $sp,$sp,32
; ritorna
        j       $31
        nop

```

Listing 1.61: Senza ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```

.text:00000000 main:
.text:00000000
.text:00000000 var_10                = -0x10
.text:00000000 var_8                 = -8
.text:00000000 var_4                 = -4
.text:00000000
; prologo funzione:
.text:00000000                addiu    $sp, -0x20
.text:00000004                sw       $ra, 0x20+var_4($sp)
.text:00000008                sw       $fp, 0x20+var_8($sp)
.text:0000000C                move    $fp, $sp
.text:00000010                la       $gp, __gnu_local_gp
.text:00000018                sw       $gp, 0x20+var_10($sp)
; carica l'indirizzo della stringa di testo:
.text:0000001C                la       $v0, aADBDCD        # "a=%d; b=%d; c=%d"
; imposta il 1° argomento di printf():
.text:00000024                move    $a0, $v0
; imposta il 2° argomento di printf():
.text:00000028                li      $a1, 1
; imposta il 3° argomento di printf():
.text:0000002C                li      $a2, 2
; imposta il 4° argomento di printf():
.text:00000030                li      $a3, 3
; prendi l'indirizzo di printf():
.text:00000034                lw       $v0, (printf & 0xFFFF)($gp)
.text:00000038                or      $at, $zero
; chiama printf():

```

```

.text:0000003C      move    $t9, $v0
.text:00000040      jalr     $t9
.text:00000044      or      $at, $zero ; NOP
; epilogo funzione:
.text:00000048      lw      $gp, 0x20+var_10($fp)
; imposta il valore di ritorno a 0:
.text:0000004C      move    $v0, $zero
.text:00000050      move    $sp, $fp
.text:00000054      lw      $ra, 0x20+var_4($sp)
.text:00000058      lw      $fp, 0x20+var_8($sp)
.text:0000005C      addiu   $sp, 0x20
; ritorna
.text:00000060      jr      $ra
.text:00000064      or      $at, $zero ; NOP

```

8 argomenti

Usiamo nuovamente l'esempio con 9 argomenti dalla sezione precedente: [1.11.1 on page 68](#).

```

#include <stdio.h>

int main()
{
    printf("a=%d; b=%d; c=%d; d=%d; e=%d; f=%d; g=%d; h=%d\n", 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8);
    return 0;
};

```

Con ottimizzazione GCC 4.4.5

Solo i primi 4 argomenti sono passati nei registri \$A0 ...\$A3, gli altri sono passati tramite lo stack.

Questa è la calling convention O32 (che è la più comune nel mondo MIPS). Altre calling conventions (come N32) possono usare i registri per scopi diversi.

SW è l'abbreviazione di «Store Word» (da un registro alla memoria). MIPS manca di istruzioni per memorizzare un valore in memoria, è quindi necessario usare una coppia di istruzioni (LI/SW).

Listing 1.62: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (risultato dell'assembly)

```

$LC0:
    .ascii  "a=%d; b=%d; c=%d; d=%d; e=%d; f=%d; g=%d; h=%d\012\000"
main:
; prologo funzione:
    lui    $28,%hi(__gnu_local_gp)
    addiu  $sp,$sp,-56
    addiu  $28,$28,%lo(__gnu_local_gp)
    sw     $31,52($sp)

```



```

; passa il 5° argomento nello stack:
    li    $2,4                # 0x4
    sw    $2,16($sp)
; passa il 6° argomento nello stack:
    li    $2,5                # 0x5
    sw    $2,20($sp)
; passa il 7° argomento nello stack:
    li    $2,6                # 0x6
    sw    $2,24($sp)
; passa l' 8° argomento nello stack:
    li    $2,7                # 0x7
    lw    $25,%call16(sprintf)($28)
    sw    $2,28($sp)
; passa il 1° argomento in $a0:
    lui   $4,%hi($LC0)
; passa il 9° argomento nello stack:
    li    $2,8                # 0x8
    sw    $2,32($sp)
    addiu $4,$4,%lo($LC0)
; passa il 2° argomento in $a1:
    li    $5,1                # 0x1
; passa 3° argomento in $a2:
    li    $6,2                # 0x2
; chiama printf():
    jalr  $25
; passa il 4° argomento in $a3 (branch delay slot):
    li    $7,3                # 0x3

; epilogo funzione:
    lw    $31,52($sp)
; imposta il valore di ritorno a 0:
    move  $2,$0
; ritorna
    j     $31
    addiu $sp,$sp,56 ; branch delay slot

```

Listing 1.63: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```

.text:00000000 main:
.text:00000000
.text:00000000 var_28          = -0x28
.text:00000000 var_24          = -0x24
.text:00000000 var_20          = -0x20
.text:00000000 var_1C          = -0x1C
.text:00000000 var_18          = -0x18
.text:00000000 var_10          = -0x10
.text:00000000 var_4           = -4
.text:00000000
; prologo funzione:
.text:00000000                lui    $gp, (__gnu_local_gp >> 16)
.text:00000004                addiu  $sp, -0x38
.text:00000008                la     $gp, (__gnu_local_gp & 0xFFFF)
.text:0000000C                sw     $ra, 0x38+var_4($sp)
.text:00000010                sw     $gp, 0x38+var_10($sp)

```

```

; passa il 5° argomento nello stack:
.text:00000014      li      $v0, 4
.text:00000018      sw      $v0, 0x38+var_28($sp)
; passa il 6° argomento nello stack:
.text:0000001C      li      $v0, 5
.text:00000020      sw      $v0, 0x38+var_24($sp)
; passa il 7° argomento nello stack:
.text:00000024      li      $v0, 6
.text:00000028      sw      $v0, 0x38+var_20($sp)
; passa l' 8° argomento nello stack:
.text:0000002C      li      $v0, 7
.text:00000030      lw      $t9, (printf & 0xFFFF)($gp)
.text:00000034      sw      $v0, 0x38+var_1C($sp)
; prepara il 1° argomento in $a0:
.text:00000038      lui     $a0, ($LC0 >> 16) # "a=%d; b=%d;
      c=%d; d=%d; e=%d; f=%d; g=%"...
; passa il 9° argomento nello stack:
.text:0000003C      li      $v0, 8
.text:00000040      sw      $v0, 0x38+var_18($sp)
; passa il 1° argomento in $a0:
.text:00000044      la      $a0, ($LC0 & 0xFFFF) # "a=%d; b=%d;
      c=%d; d=%d; e=%d; f=%d; g=%"...
; passa il 2° argomento in $a1:
.text:00000048      li      $a1, 1
; passa il 3° argomento in $a2:
.text:0000004C      li      $a2, 2
; chiama printf():
.text:00000050      jalr     $t9
; passa il 4° argomento in $a3 (branch delay slot):
.text:00000054      li      $a3, 3
; epilogo funzione:
.text:00000058      lw      $ra, 0x38+var_4($sp)
; imposta il valore di ritorno a 0:
.text:0000005C      move     $v0, $zero
; ritorna
.text:00000060      jr      $ra
.text:00000064      addiu     $sp, 0x38 ; branch delay slot

```

Senza ottimizzazione GCC 4.4.5

Senza ottimizzazione GCC è più verboso:

Listing 1.64: Senza ottimizzazione GCC 4.4.5 (risultato dell'assembly)

```

$LC0:
      .ascii  "a=%d; b=%d; c=%d; d=%d; e=%d; f=%d; g=%d; h=%d\012\000"
main:
; prologo funzione:
      addiu     $sp,$sp,-56
      sw        $31,52($sp)
      sw        $fp,48($sp)
      move      $fp,$sp
      lui       $28,%hi(__gnu_local_gp)

```

```

        addiu    $28,$28,%lo(__gnu_local_gp)
        lui     $2,%hi($LC0)
        addiu    $2,$2,%lo($LC0)
; passa il 5° argomento nello stack:
        li      $3,4                      # 0x4
        sw      $3,16($sp)
; passa il 6° argomento nello stack:
        li      $3,5                      # 0x5
        sw      $3,20($sp)
; passa il 7° argomento nello stack:
        li      $3,6                      # 0x6
        sw      $3,24($sp)
; passa l' 8° argomento nello stack:
        li      $3,7                      # 0x7
        sw      $3,28($sp)
; passa il 9° argomento nello stack:
        li      $3,8                      # 0x8
        sw      $3,32($sp)
; passa il 1° argomento in $a0:
        move    $4,$2
; passa il 2° argomento in $a1:
        li      $5,1                      # 0x1
; passa il 3° argomento in $a2:
        li      $6,2                      # 0x2
; passa il 4° argomento in $a3:
        li      $7,3                      # 0x3
; chiama printf():
        lw      $2,%call16(printf)($28)
        nop
        move    $25,$2
        jalr    $25
        nop
; epilogo funzione:
        lw      $28,40($fp)
; imposta il valore di ritorno a 0:
        move    $2,$0
        move    $sp,$fp
        lw      $31,52($sp)
        lw      $fp,48($sp)
        addiu   $sp,$sp,56
; ritorna
        j       $31
        nop

```

Listing 1.65: Senza ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```

.text:00000000 main:
.text:00000000
.text:00000000 var_28          = -0x28
.text:00000000 var_24          = -0x24
.text:00000000 var_20          = -0x20
.text:00000000 var_1C          = -0x1C
.text:00000000 var_18          = -0x18
.text:00000000 var_10          = -0x10

```

```

.text:00000000 var_8      = -8
.text:00000000 var_4      = -4
.text:00000000
; prologo funzione:
.text:00000000          addiu    $sp, -0x38
.text:00000004          sw       $ra, 0x38+var_4($sp)
.text:00000008          sw       $fp, 0x38+var_8($sp)
.text:0000000C          move     $fp, $sp
.text:00000010          la       $gp, __gnu_local_gp
.text:00000018          sw       $gp, 0x38+var_10($sp)
.text:0000001C          la       $v0, aADBCDDDEDFDGD # "a=%d; b=%d;
               c=%d; d=%d; e=%d; f=%d; g=%"...
; passa il 5° argomento nello stack:
.text:00000024          li       $v1, 4
.text:00000028          sw       $v1, 0x38+var_28($sp)
; passa il 6° argomento nello stack:
.text:0000002C          li       $v1, 5
.text:00000030          sw       $v1, 0x38+var_24($sp)
; passa il 7° argomento nello stack:
.text:00000034          li       $v1, 6
.text:00000038          sw       $v1, 0x38+var_20($sp)
; passa il 8° argomento nello stack:
.text:0000003C          li       $v1, 7
.text:00000040          sw       $v1, 0x38+var_1C($sp)
; passa il 9° argomento nello stack:
.text:00000044          li       $v1, 8
.text:00000048          sw       $v1, 0x38+var_18($sp)
; passa il 1° argomento in $a0:
.text:0000004C          move     $a0, $v0
; passa il 2° argomento in $a1:
.text:00000050          li       $a1, 1
; passa il 3° argomento in $a2:
.text:00000054          li       $a2, 2
; passa il 4° argomento in $a3:
.text:00000058          li       $a3, 3
; chiama printf():
.text:0000005C          lw       $v0, (printf & 0xFFFF)($gp)
.text:00000060          or       $at, $zero
.text:00000064          move     $t9, $v0
.text:00000068          jalr     $t9
.text:0000006C          or       $at, $zero ; NOP
; epilogo funzione:
.text:00000070          lw       $gp, 0x38+var_10($fp)
; imposta il valore di ritorno a 0:
.text:00000074          move     $v0, $zero
.text:00000078          move     $sp, $fp
.text:0000007C          lw       $ra, 0x38+var_4($sp)
.text:00000080          lw       $fp, 0x38+var_8($sp)
.text:00000084          addiu    $sp, 0x38
; ritorna
.text:00000088          jr       $ra
.text:0000008C          or       $at, $zero ; NOP

```

1.11.4 Conclusione

Qua di seguito c'è uno scheletro della chiamata alla funzione:

Listing 1.66: x86

```
...  
PUSH 3° argomento  
PUSH 2° argomento  
PUSH 1° argomento  
CALL funzione  
; modifica lo stack pointer (se necessario)
```

Listing 1.67: x64 (MSVC)

```
MOV RCX, 1° argomento  
MOV RDX, 2° argomento  
MOV R8, 3° argomento  
MOV R9, 4° argomento  
...  
PUSH 5°, 6° argomento, ecc. (se necessario)  
CALL funzione  
; modifica lo stack pointer (se necessario)
```

Listing 1.68: x64 (GCC)

```
MOV RDI, 1° argomento  
MOV RSI, 2° argomento  
MOV RDX, 3° argomento  
MOV RCX, 4° argomento  
MOV R8, 5° argomento  
MOV R9, 6° argomento  
...  
PUSH 7°, 8° argomento, ecc. (se necessario)  
CALL funzione  
; modifica lo stack pointer (se necessario)
```

Listing 1.69: ARM

```
MOV R0, 1° argomento  
MOV R1, 2° argomento  
MOV R2, 3° argomento  
MOV R3, 4° argomento  
; passa il 5°, 6° argomento, ecc., nello stack (se necessario)  
BL funzione  
; modifica lo stack pointer (se necessario)
```

Listing 1.70: ARM64

```
MOV X0, 1° argomento  
MOV X1, 2° argomento  
MOV X2, 3° argomento  
MOV X3, 4° argomento  
MOV X4, 5° argomento
```

```

MOV X5, 6° argomento
MOV X6, 7° argomento
MOV X7, 8° argomento
; passa il 9°, 10° argomento, ecc., nello stack (se necessario)
BL funzione
; modifica lo stack pointer (se necessario)

```

Listing 1.71: MIPS (O32 calling convention)

```

LI $4, 1° argomento ; AKA $A0
LI $5, 2° argomento ; AKA $A1
LI $6, 3° argomento ; AKA $A2
LI $7, 4° argomento ; AKA $A3
; passa il 5°, 6° argomento, ecc., nello stack (se necessario)
LW temp_reg, indirizzo della funzione
JALR temp_reg

```

1.11.5 A proposito

Questa differenza negli approcci utilizzati per il passaggio di argomenti in x86, x64, fastcall, ARM e MIPS è un'ottima dimostrazione del fatto che per la CPU è indifferente come gli argomenti vengono passati alle funzioni. Sarebbe anche possibile creare un compilatore ipotetico in grado di passare gli argomenti attraverso una struttura speciale, senza usare lo stack.

I registri MIPS \$A0 ...\$A3 sono indicati in questo modo soltanto per convenienza (cioè nella O32 calling convention). I programmatori possono usare qualunque altro registro (tranne forse \$ZERO) per passare i dati, o utilizzare qualunque altra calling convention.

La **CPU** non è assolutamente consapevole delle calling conventions.

Possiamo anche ricordare come i programmatori principianti in assembly passino gli argomenti alle altre funzioni: di solito tramite i registri, senza un ordine esplicito, o anche attraverso variabili globali. Questi approcci sono ovviamente validi e funzionanti.

1.12 scanf()

Ora utilizziamo `scanf()`.

1.12.1 Un semplice esempio

```

#include <stdio.h>

int main()
{
    int x;
    printf ("Enter X:\n");

```

```
scanf ("%d", &x);

printf ("You entered %d...\n", x);

return 0;
};
```

Oggi non è più conveniente usare `scanf()` per interagire con l'utente. Possiamo però utilizzarla per illustrare il passaggio di un puntatore ad una variabile di tipo *int*.

Puntatori

I puntatori sono fra i concetti fondamentali in informatica. Spesso il passaggio di una struttura, array o più in generale, un oggetto molto grande, è troppo costoso in termini di memoria, mentre passare il suo indirizzo è più efficace. Inoltre se la funzione chiamata (*chiamata*) necessita di modificare qualcosa nella struttura ricevuta come parametro e successivamente restituirla per intero, la situazione si fa ancora più inefficiente. Perciò la cosa più semplice da fare è passare l'indirizzo della struttura alla funzione chiamata, e lasciare che operi le modifiche necessarie.

Un puntatore in C/C++ — è semplicemente un indirizzo di una locazione di memoria.

In x86, l'indirizzo è rappresentato con un numero a 32-bit (i.e., occupa 4 byte), mentre in x86-64 è un numero a 64-bit (8 byte). Per inciso, questo è il motivo per cui alcune persone si lamentano nel passaggio a x86-64 — tutti i puntatori in architettura x64 richiedono il doppio dello spazio, inclusa la memoria cache, che è memoria "costosa".

E' possibile lavorare soltanto con puntatori senza tipo, con un po' di sforzo. Ad esempio la funzione C standard `memcpy()`, che copia un blocco di memoria da un indirizzo ad un altro, ha come argomenti 2 puntatori di tipo `void*`, poichè è impossibile predire il tipo di dati che si vuole copiare. Il tipo di dato non è importante, conta solo la dimensione del blocco.

I puntatori sono anche molto usati quando una funzione deve restituire più di un valore (torneremo su questo argomento più avanti ([1.16 on page 145](#))).

la funzione `scanf()` — è uno di questi casi.

Oltre al fatto che la funzione necessita di indicare quanti valori sono stati letti con successo, deve anche restituire tutti questi valori.

In C/C++ il tipo del puntatore è necessario soltanto per i controlli sui tipi a compile-time.

Internamente, nel codice compilato, non vi è alcuna informazione sui tipi dei puntatori.

x86

MSVC

Questo è ciò che si ottiene dopo la compilazione con MSVC 2010:

```

CONST    SEGMENT
$SG3831   DB    'Enter X:', 0aH, 00H
$SG3832   DB    '%d', 00H
$SG3833   DB    'You entered %d...', 0aH, 00H
CONST    ENDS
PUBLIC    _main
EXTRN     _scanf:PROC
EXTRN     _printf:PROC
; flag di compilazione della funzione: /Odt
_TEXT    SEGMENT
_x$ = -4                                ; size = 4
_main     PROC
    push   ebp
    mov    ebp, esp
    push   ecx
    push   OFFSET $SG3831 ; 'Enter X:'
    call   _printf
    add    esp, 4
    lea    eax, DWORD PTR _x$[ebp]
    push   eax
    push   OFFSET $SG3832 ; '%d'
    call   _scanf
    add    esp, 8
    mov    ecx, DWORD PTR _x$[ebp]
    push   ecx
    push   OFFSET $SG3833 ; 'You entered %d...'
    call   _printf
    add    esp, 8

    ; ritorna 0
    xor    eax, eax
    mov    esp, ebp
    pop    ebp
    ret    0
_main     ENDP
_TEXT     ENDS

```

x è una variabile locale.

In base allo standard C/C++ deve essere visibile soltanto in questa funzione e non in altri ambiti (esterni alla funzione). Tradizionalmente, le variabili locali sono memorizzate sullo stack. Ci sono probabilmente altri modi per allocarle, ma in x86 è così.

Lo scopo dell'istruzione che segue il prologo della funzione, PUSH ECX, non è quello di salvare lo stato di ECX (si noti infatti l'assenza della corrispondente istruzione POP ECX alla fine della funzione).

Infatti alloca 4 byte sullo stack per memorizzare la variabile x.

x sarà acceduta con l'aiuto della macro _x\$ (che è uguale a -4) ed il registro EBP che punta al frame corrente.

Durante l'esecuzione delle funzioni, EBP punta allo [stack frame](#) corrente rendendo possibile accedere alle variabili locali ed agli argomenti della funzione attraverso EBP+offset.

E' anche possibile usare ESP per lo stesso scopo, tuttavia non è molto conveniente poichè cambia di frequente. Il valore di EBP può essere pensato come uno *stato congelato* del valore in ESP all'inizio dell'esecuzione della funzione.

Questo è un tipico layout di uno [stack frame](#) in un ambiente a 32-bit:

...	...
EBP-8	local variable #2, marcato in IDA come var_8
EBP-4	local variable #1, marcato in IDA come var_4
EBP	saved value of EBP
EBP+4	return address
EBP+8	argomento#1, marcato in IDA come arg_0
EBP+0xC	argomento#2, marcato in IDA come arg_4
EBP+0x10	argomento#3, marcato in IDA come arg_8
...	...

La funzione `scanf()` nel nostro esempio ha due argomenti. Il primo è un puntatore alla stringa contenente `%d` e il secondo è l'indirizzo della variabile `x`.

Per prima cosa l'indirizzo della variabile `x` è caricato nel registro EAX dall'istruzione `lea eax, DWORD PTR _x$[ebp]`.

LEA sta per *load effective address*, ed è spesso usata per formare un indirizzo (?? on page ??).

Potremmo dire che in questo caso LEA memorizza semplicemente la somma del valore nel registro EBP e della macro `_x$` nel registro EAX.

E' l'equivalente di `lea eax, [ebp-4]`.

Quindi, 4 viene sottratto dal valore del registro EBP ed il risultato è memorizzato nel registro EAX. Successivamente il registro EAX è messo sullo stack (push) e `scanf()` viene chiamata.

`printf()` viene chiamata subito dopo con il suo primo argomento — un puntatore alla stringa: `You entered %d...\n`.

Il secondo argomento è preparato con: `mov ecx, [ebp-4]`. L'istruzione memorizza il valore della variabile `x`, non il suo indirizzo, nel registro ECX.

Successivamente il valore in ECX è memorizzato sullo stack e l'ultima `printf()` viene chiamata.

MSVC + OllyDbg

Proviamo ad analizzare l'esempio con OllyDbg. Carichiamo l'eseguibile e premiamo F8 (step over) fino a raggiungere il nostro eseguibile invece che ntdll.dll. Scorriamo verso l'alto finchè appare `main()`.

Clicchiamo sulla prima istruzione (PUSH EBP), premiamo F2 (*set a breakpoint*), e quindi F9 (*Run*). Il breakpoint sarà scatenato all'inizio della funzione `main()`.

Tracciamo adesso fino al punto in cui viene calcolato l'indirizzo della variabile x :

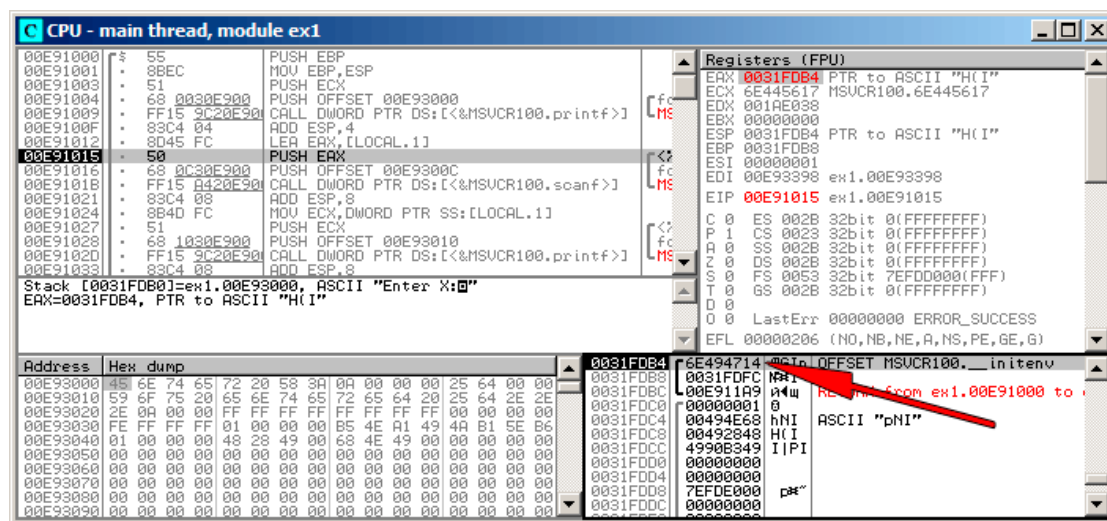


Figura 1.13: OllyDbg: The address of the local variable is calculated

Click di destra su EAX nella finestra dei registri e selezioniamo «Follow in stack».

Questo indirizzo apparirà nella finestra dello stack. La freccia rossa aggiunta punta alla variabile nello stack locale. Al momento questa locazione contiene un po' di immondizia (garbage) (0x6E494714). Con l'aiuto dell'istruzione PUSH l'indirizzo di questo elemento dello stack sarà memorizzato nello stesso stack alla posizione successiva. Tracciamo con F8 finché non viene completata l'esecuzione della funzione scanf(). Durante l'esecuzione di scanf(), diamo in input un valore nella console. Ad esempio 123:

Enter X:
123

scanf() ha già completato la sua esecuzione:

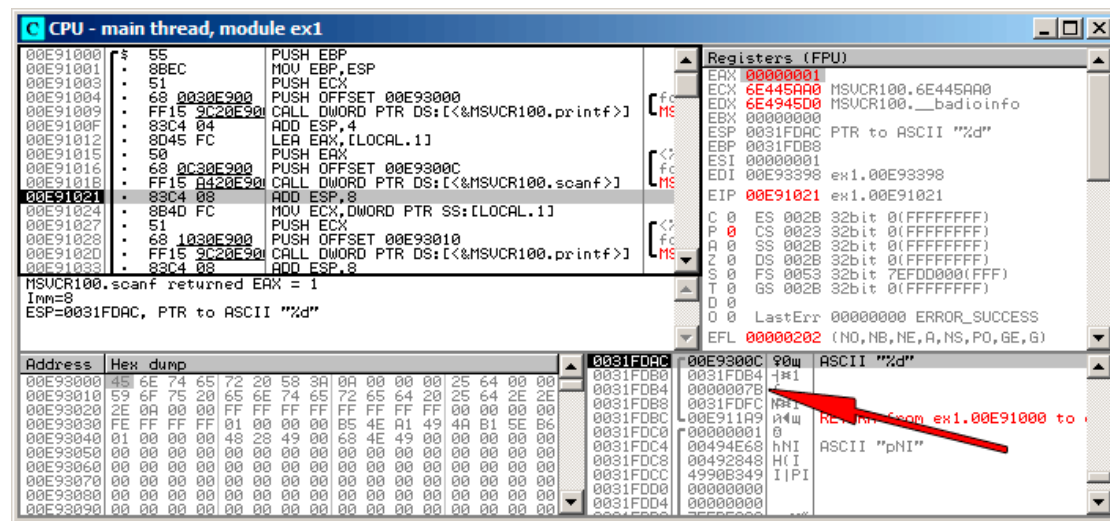


Figura 1.14: OllyDbg: scanf() executed

scanf() restituisce 1 in EAX, e ciò implica che ha letto con successo un valore. Se guardiamo nuovamente l'elemento nello stack corrispondente alla variabile locale, adesso contiene 0x7B (123).

Successivamente questo valore viene copiato dallo stack al registro ECX e passato a printf():

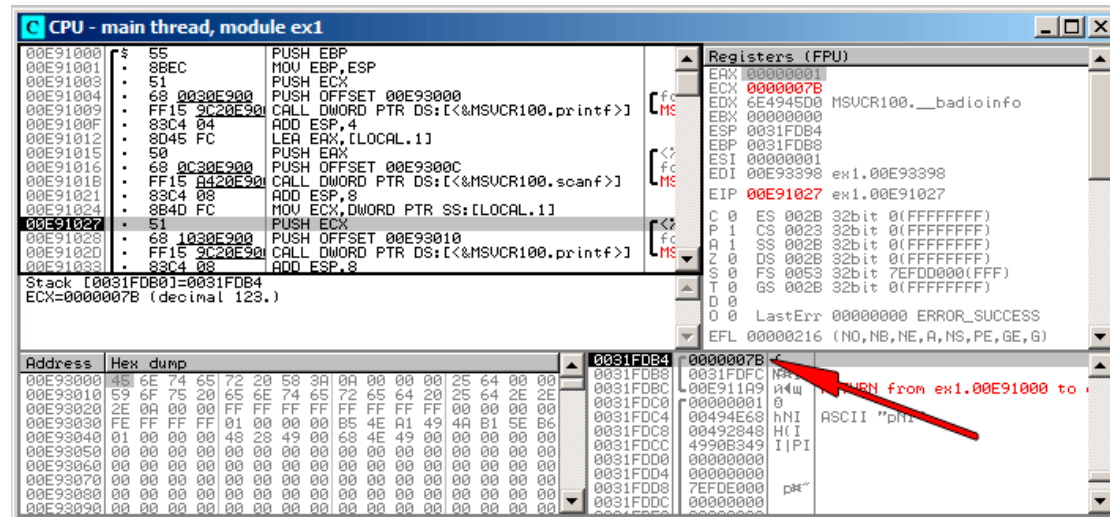


Figura 1.15: OllyDbg: preparing the value for passing to printf()

GCC

Proviamo a compilare questo codice con GCC 4.4.1 su Linux:

```
main      proc near
var_20    = dword ptr -20h
var_1C    = dword ptr -1Ch
var_4     = dword ptr -4

    push    ebp
    mov     ebp, esp
    and     esp, 0FFFFFFF0h
    sub     esp, 20h
    mov     [esp+20h+var_20], offset aEnterX ; "Enter X:"
    call    _puts
    mov     eax, offset aD ; "%d"
    lea     edx, [esp+20h+var_4]
    mov     [esp+20h+var_1C], edx
    mov     [esp+20h+var_20], eax
    call    __isoc99_scanf
    mov     edx, [esp+20h+var_4]
    mov     eax, offset aYouEnteredD ; "You entered %d...\n"
    mov     [esp+20h+var_1C], edx
    mov     [esp+20h+var_20], eax
    call    _printf
    mov     eax, 0
```

	leave
	retn
main	endp

GCC ha sostituito la chiamata a `printf()` con `puts()`. La ragione per cui ciò avviene è stata spiegata in [\(1.5.3 on page 28\)](#).

Come nell'esempio compilato con MSVC —gli argomenti sono messi sullo stack utilizzando l'istruzione `MOV`.

A proposito

Questo semplice esempio è la dimostrazione del fatto che il compilatore traduce una lista di espressioni in blocchi C/C++ in una lista sequenziale di istruzioni. Non c'è nulla tra le espressioni in C/C++, e di conseguenza, nemmeno nel codice macchina risultate. Il flusso di controllo dunque passa da un'istruzione alla successiva.

x64

La situazione è simile, con l'unica differenza che, per il passaggio degli argomenti, i registri sono usati al posto dello stack.

MSVC

Listing 1.72: MSVC 2012 x64

<code>_DATA</code>	<code>SEGMENT</code>	
<code>\$SG1289</code>	<code>DB</code>	<code>'Enter X:', 0aH, 00H</code>
<code>\$SG1291</code>	<code>DB</code>	<code>'%d', 00H</code>
<code>\$SG1292</code>	<code>DB</code>	<code>'You entered %d...', 0aH, 00H</code>
<code>_DATA</code>	<code>ENDS</code>	
<code>_TEXT</code>	<code>SEGMENT</code>	
<code>x\$ = 32</code>		
<code>main</code>	<code>PROC</code>	
<code>\$LN3:</code>		
	<code>sub</code>	<code>rsp, 56</code>
	<code>lea</code>	<code>rcx, OFFSET FLAT:\$SG1289 ; 'Enter X:'</code>
	<code>call</code>	<code>printf</code>
	<code>lea</code>	<code>rdx, QWORD PTR x\$[rsp]</code>
	<code>lea</code>	<code>rcx, OFFSET FLAT:\$SG1291 ; '%d'</code>
	<code>call</code>	<code>scanf</code>
	<code>mov</code>	<code>edx, DWORD PTR x\$[rsp]</code>
	<code>lea</code>	<code>rcx, OFFSET FLAT:\$SG1292 ; 'You entered %d...'</code>
	<code>call</code>	<code>printf</code>
		<code>; ritorna 0</code>
	<code>xor</code>	<code>eax, eax</code>
	<code>add</code>	<code>rsp, 56</code>
	<code>ret</code>	<code>0</code>

```
main    ENDP
_TEXT   ENDS
```

GCC

Listing 1.73: Con ottimizzazione GCC 4.4.6 x64

```
.LC0:
.string "Enter X:"
.LC1:
.string "%d"
.LC2:
.string "You entered %d...\n"

main:
    sub     rsp, 24
    mov     edi, OFFSET FLAT:.LC0 ; "Enter X:"
    call    puts
    lea     rsi, [rsp+12]
    mov     edi, OFFSET FLAT:.LC1 ; "%d"
    xor     eax, eax
    call    __isoc99_scanf
    mov     esi, DWORD PTR [rsp+12]
    mov     edi, OFFSET FLAT:.LC2 ; "You entered %d...\n"
    xor     eax, eax
    call    printf

    ; ritorna 0
    xor     eax, eax
    add     rsp, 24
    ret
```

ARM

Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)

```
.text:00000042          scanf_main
.text:00000042
.text:00000042          var_8              = -8
.text:00000042
.text:00000042 08 B5          PUSH    {R3,LR}
.text:00000044 A9 A0          ADR     R0, aEnterX ; "Enter X:\n"
.text:00000046 06 F0 D3 F8 BL      __2printf
.text:0000004A 69 46          MOV     R1, SP
.text:0000004C AA A0          ADR     R0, aD ; "%d"
.text:0000004E 06 F0 CD F8 BL      __0scanf
.text:00000052 00 99          LDR     R1, [SP,#8+var_8]
.text:00000054 A9 A0          ADR     R0, aYouEnteredD__ ; "You entered
    %d...\n"
.text:00000056 06 F0 CB F8 BL      __2printf
```

.text:0000005A 00 20	MOVS	R0, #0
.text:0000005C 08 BD	POP	{R3,PC}

Affinchè `scanf()` possa leggere l'input, necessita di un parametro —puntatore ad un *int*. *int* è 32-bit, quindi servono 4 byte per memorizzarlo da qualche parte in memoria, e entra perfettamente in un registro a 32-bit. Uno spazio per la variabile locale *x* è allocato nello stack e IDA lo ha chiamato *var_8*. Non è comunque necessario allocarlo in questo modo poichè **SPI** (*stack pointer*) punta già a quella posizione e può essere usato direttamente.

Successivamente il valore di **SPI** è copiato nel registro R1 e sono passati, insieme alla format-string, a `scanf()`.

Le istruzioni PUSH/POP si comportano diversamente in ARM rispetto a x86 (è il contrario). Sono sinonimi delle istruzioni STM/STMDB/LDM/LDMIA. E l'istruzione PUSH innanzitutto scrive un valore nello stack, e poi sottrae 4 allo **SPI**. POP innanzitutto aggiunge 4 allo **SPI**, e poi legge un valore dallo stack. Quindi, dopo PUSH, lo **SPI** punta ad uno spazio inutilizzato nello stack. E' usato da `scanf()`, e da `printf()` dopo.

LDMIA significa *Load Multiple Registers Increment address After each transfer*. STMDB significa *Store Multiple Registers Decrement address Before each transfer*.

Questo valore, con l'aiuto dell'istruzione LDR, viene poi spostato dallo stack al registro R1 per essere passato a `printf()`.

ARM64

Listing 1.74: Senza ottimizzazione GCC 4.9.1 ARM64

```

1  .LC0:
2      .string "Enter X:"
3  .LC1:
4      .string "%d"
5  .LC2:
6      .string "You entered %d...\n"
7  scanf_main:
8      ; sottrai 32 dallo SP, poi salva il FP ed il LR nello stack frame:
9          stp     x29, x30, [sp, -32]!
10     ; imposta lo stack frame (FP=SP)
11         add     x29, sp, 0
12     ; imposta il puntatore alla stringa "Enter X:":
13         adrp    x0, .LC0
14         add     x0, x0, :lo12:.LC0
15     ; X0=puntatore alla stringa "Enter X:"
16     ; stampalo:
17         bl      puts
18     ; imposta il puntatore alla stringa "%d":
19         adrp    x0, .LC1
20         add     x0, x0, :lo12:.LC1
21     ; trova uno spazio nello stack frame per la variabile "x" (X1=FP+28):
22         add     x1, x29, 28

```

```

23 ; X1=indirizzo della variabile "x"
24 ; passa l'indirizzo alla scanf() e chiamala:
25     bl    __isoc99_scanf
26 ; carica 32-bit dalla variabile nello stack frame:
27     ldr    w1, [x29,28]
28 ; W1=x
29 ; imposta il puntatore alla stringa "You entered %d...\n"
30 ; printf() prenderà la stringa di testo da X0 alla variabile "x" da X1 (o W1)
31     adrp    x0, .LC2
32     add     x0, x0, :lo12:.LC2
33     bl     printf
34 ; ritorna 0
35     mov     w0, 0
36 ; ripristina FP e LR, poi aggiungi 32 allo SP:
37     ldp     x29, x30, [sp], 32
38     ret

```

Ci sono 32 byte allocati per lo stack frame, che è più grande del necessario. Forse a causa di meccanismi di allineamento della memoria? La parte più interessante è quella in cui trova spazio per la variabile x nello stack frame (riga 22). Perché 28? Il compilatore ha in qualche modo deciso di piazzare questa variabile alla fine dello stack frame anziché all'inizio. L'indirizzo è passato a `scanf()`, che memorizzerà il valore immesso dall'utente nella memoria a quell'indirizzo. Si tratta di un valore a 32-bit di tipo *int*. Il valore è recuperato successivamente a riga 27 e passato a `printf()`.

MIPS

Nello stack locale viene allocato spazio per la variabile x , a cui viene fatto riferimento come $\$sp + 24$.

Il suo indirizzo è passato a `scanf()`, il valore immesso dall'utente è caricato usando l'istruzione `LW` («Load Word») ed è infine passato a `printf()`.

Listing 1.75: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (risultato dell'assembly)

```

$LC0:
    .ascii  "Enter X:\000"
$LC1:
    .ascii  "%d\000"
$LC2:
    .ascii  "You entered %d...\012\000"
main:
; prologo funzione:
    lui     $28,%hi(__gnu_local_gp)
    addiu   $sp,$sp,-40
    addiu   $28,$28,%lo(__gnu_local_gp)
    sw      $31,36($sp)
; chiama puts():
    lw      $25,%call16(puts)($28)
    lui     $4,%hi($LC0)
    jalr    $25
    addiu   $4,$4,%lo($LC0) ; branch delay slot

```



```

; chiama scanf():
    lw      $28,16($sp)
    lui     $4,%hi($LC1)
    lw      $25,%call16(__isoc99_scanf)($28)
; imposta il 2° argomento di scanf(), $a1=$sp+24:
    addiu   $5,$sp,24
    jalr    $25
    addiu   $4,$4,%lo($LC1) ; branch delay slot

; chiama printf():
    lw      $28,16($sp)
; imposta il 2° argomento di printf(),
; carica la word all'indirizzo $sp+24:
    lw      $5,24($sp)
    lw      $25,%call16(printf)($28)
    lui     $4,%hi($LC2)
    jalr    $25
    addiu   $4,$4,%lo($LC2) ; branch delay slot

; epilogo funzione:
    lw      $31,36($sp)
; imposta il valore di ritorno a 0:
    move    $2,$0
; ritorna:
    j       $31
    addiu   $sp,$sp,40      ; branch delay slot

```

IDA mostra il layout dello stack nel modo seguente:

Listing 1.76: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```

.text:00000000 main:
.text:00000000
.text:00000000 var_18    = -0x18
.text:00000000 var_10    = -0x10
.text:00000000 var_4     = -4
.text:00000000
; prologo funzione:
.text:00000000          lui     $gp, (__gnu_local_gp >> 16)
.text:00000004          addiu   $sp, -0x28
.text:00000008          la      $gp, (__gnu_local_gp & 0xFFFF)
.text:0000000C          sw      $ra, 0x28+var_4($sp)
.text:00000010          sw      $gp, 0x28+var_18($sp)
; chiama puts():
.text:00000014          lw      $t9, (puts & 0xFFFF)($gp)
.text:00000018          lui     $a0, ($LC0 >> 16) # "Enter X:"
.text:0000001C          jalr    $t9
.text:00000020          la      $a0, ($LC0 & 0xFFFF) # "Enter X:" ; branch
                    delay slot
; chiama scanf():
.text:00000024          lw      $gp, 0x28+var_18($sp)
.text:00000028          lui     $a0, ($LC1 >> 16) # "%d"
.text:0000002C          lw      $t9, (__isoc99_scanf & 0xFFFF)($gp)
; imposta il 2° argomento di scanf(), $a1=$sp+24:

```

```

.text:00000030      addiu    $a1, $sp, 0x28+var_10
.text:00000034      jalr     $t9 ; branch delay slot
.text:00000038      la       $a0, ($LC1 & 0xFFFF) # "%d"
; chiama printf():
.text:0000003C      lw       $gp, 0x28+var_18($sp)
; imposta il 2° argomento di printf(),
; carica la word all'indirizzo $sp+24:
.text:00000040      lw       $a1, 0x28+var_10($sp)
.text:00000044      lw       $t9, (printf & 0xFFFF)($gp)
.text:00000048      lui     $a0, ($LC2 >> 16) # "You entered %d...\n"
.text:0000004C      jalr     $t9
.text:00000050      la       $a0, ($LC2 & 0xFFFF) # "You entered %d...\n"
; branch delay slot
; epilogo funzione:
.text:00000054      lw       $ra, 0x28+var_4($sp)
; imposta il valore di ritorno a 0:
.text:00000058      move    $v0, $zero
; ritorna:
.text:0000005C      jr      $ra
.text:00000060      addiu    $sp, 0x28 ; branch delay slot

```

1.12.2 Il classico errore

E' un errore comune (e/o tipografico), passare il valore di *x* anzichè il puntatore a *x*:

```

#include <stdio.h>

int main()
{
    int x;
    printf ("Enter X:\n");

    scanf ("%d", x); // BUG

    printf ("You entered %d...\n", x);

    return 0;
};

```

Cosa succede in questo caso? *x* non è inizializzata e contiene del rumore casuale dallo stack locale. Quando `scanf()` viene chiamata, prende una stringa dall'utente, la traduce in numero e prova a scriverla in *x*, trattandola come un indirizzo di memoria. Ma c'è del rumore casuale, quindi `scanf()` proverà a scrivere ad un indirizzo casuale. Di solito, il programma si blocca.

E' abbastanza interessante il fatto che alcune librerie [CRT](#), nella build di debug, inseriscono dei patterns distinguibili visivamente nella memoria appena allocata, come `0xCCCCCCCC` o `0x0BADF00D` e così via. In questo caso, *x* conterrà `0xCCCCCCCC` e `scanf()` proverà a scrivere all'indirizzo `0xCCCCCCCC`. Se si nota che qualcosa in un processo prova a scrivere all'indirizzo `0xCCCCCCCC`, si sà che una variabile non inizializzata (o puntatore) è stato usato senza una precedente inizializzazione. Que-

sta soluzione è migliore rispetto al caso in cui la memoria appena allocata venga azzerata.

1.12.3 Varibili globali

E se la variabile `x` dell'esempio precedente non fosse locale ma globale? Sarebbe stata accessibile da qualunque punto del codice, non soltanto nel corpo della funzione. Le variabili globali sono considerate [anti-pattern](#), ma per il nostro interesse di sperimentare ci è concesso usarle.

```
#include <stdio.h>

// ora x è una variabile globale
int x;

int main()
{
    printf ("Enter X:\n");

    scanf ("%d", &x);

    printf ("You entered %d...\n", x);

    return 0;
};
```

MSVC: x86

```
_DATA    SEGMENT
COMM     _x:DWORD
$SG2456  DB      'Enter X:', 0aH, 00H
$SG2457  DB      '%d', 00H
$SG2458  DB      'You entered %d...', 0aH, 00H
_DATA    ENDS
PUBLIC   _main
EXTRN    _scanf:PROC
EXTRN    _printf:PROC
; Function compile flags: /Odtp
_TEXT    SEGMENT
_main    PROC
    push    ebp
    mov     ebp, esp
    push    OFFSET $SG2456
    call    _printf
    add     esp, 4
    push    OFFSET _x
    push    OFFSET $SG2457
    call    _scanf
    add     esp, 8
    mov     eax, DWORD PTR _x
    push    eax
    push    OFFSET $SG2458
```

```

    call    _printf
    add     esp, 8
    xor     eax, eax
    pop     ebp
    ret     0
_main     ENDP
_TEXT     ENDS

```

In questo caso la variabile `x` è definita nel segmento `_DATA` e per essa non viene allocata alcuna memoria nello stack locale. Viene acceduta direttamente, non attraverso lo stack. Le variabili globali non inizializzate non occupano spazio nel file eseguibile (che motivo ci sarebbe di allocare spazio per variabili inizialmente settate a zero?), ma quando qualcuno accede al loro indirizzo, l' [OS](#) allocherà un blocco di zeri al loro posto ⁷⁴.

Adesso assegnamo esplicitamente un valore alla variabile:

```
int x=10; // valore di default
```

Otteniamo:

```

_DATA     SEGMENT
_x        DD      0aH
...

```

Vediamo qui un valore `0xA` di tipo `DWORD` (`DD` sta per `DWORD` = 32 bit) per questa variabile.

Analizzando con [IDA](#) il file `.exe` compilato, notiamo che la variabile `x` è collocata all'inizio del segmento `_DATA`, e dopo di essa vediamo le stringhe testuali.

Analizzando l'eseguibile dell'esempio precedente con [IDA](#), vedremo qualcosa del genere dove il valore di `x` non era stato impostato:

Listing 1.77: [IDA](#)

```

.data:0040FA80 _x          dd ?      ; DATA XREF: _main+10
.data:0040FA80           ; _main+22
.data:0040FA84 dword_40FA84 dd ?      ; DATA XREF: _memset+1E
.data:0040FA84           ; unknown_libname_1+28
.data:0040FA88 dword_40FA88 dd ?      ; DATA XREF: __sbh_find_block+5
.data:0040FA88           ; __sbh_free_block+2BC
.data:0040FA8C ; LPVOID lpMem
.data:0040FA8C lpMem      dd ?      ; DATA XREF: __sbh_find_block+B
.data:0040FA8C           ; __sbh_free_block+2CA
.data:0040FA90 dword_40FA90 dd ?      ; DATA XREF: _V6_HeapAlloc+13
.data:0040FA90           ; __calloc_impl+72
.data:0040FA94 dword_40FA94 dd ?      ; DATA XREF: __sbh_free_block+2FE

```

`_x` è contrassegnata con il simbolo `?` insieme al resto delle variabili che non necessitano di essere inizializzate. Ciò implica che dopo il caricamento del `.exe` in memoria,

⁷⁴Questo è il modo in cui funziona una [VM](#)

verrà allocato spazio riempito di zeri per tutte queste variabili [*ISO/IEC 9899:TC3 (C99 standard)*, (2007)6.7.8p10]. Ma nel file .exe tutte le variabili non inizializzate non occupano alcuno spazio. Questo risulta molto conveniente ad esempio nel caso di array molto grandi.

MSVC: x86 + OllyDbg

Il quadro qui è ancora più semplice:

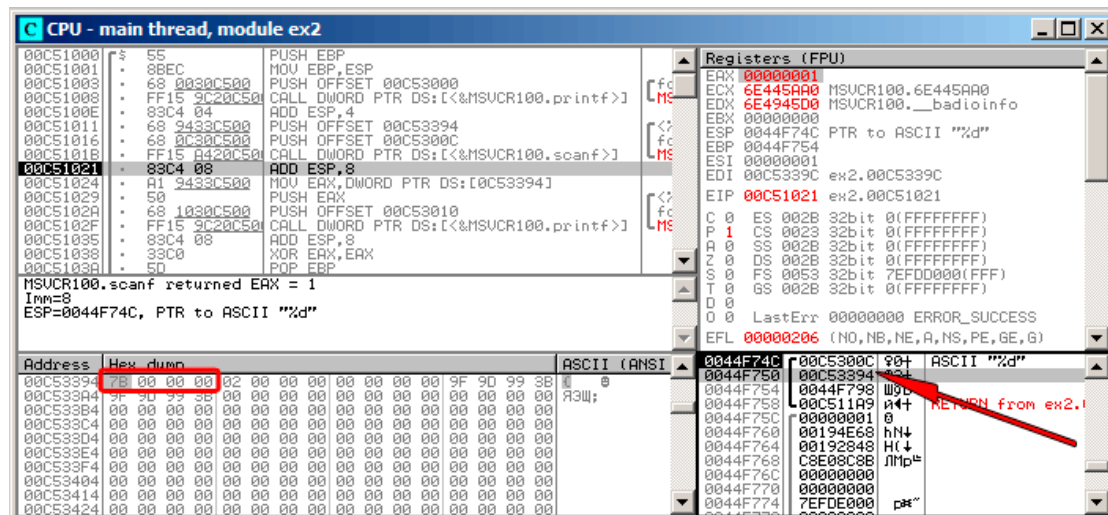


Figura 1.16: OllyDbg: dopo l'esecuzione di scanf()

La variabile è collocata nel data segment. Dopo che l'istruzione PUSH (che fa il push dell'indirizzo di x) viene eseguita, l'indirizzo appare nella finestra dello stack. Facciamo click destro su quella riga e selezioniamo «Follow in dump». La variabile apparirà nella finestra di memoria a sinistra. Dopo aver inserito il valore 123 in console, 0x7B apparirà nella finestra della memoria (vedere regioni evidenziate nello screenshot).

Ma perchè il primo byte è 7B? A rigor di logica, dovremmo trovare 00 00 00 7B. La causa per cui troviamo invece 7B è detta [endianness](#), e x86 usa la convenzione *little-endian*. Ciò significa che il byte più basso è scritto per primo, e quello più alto per ultimo. Maggiori informazioni sono disponibili nella sezione: [2.1 on page 281](#). Tornando all'esempio, il valore a 32-bit è caricato da questo indirizzo di memoria in EAX e passato a printf().

L'indirizzo in memoria di x è 0x00C53394.

In OllyDbg possiamo osservare la mappa di memoria di un processo (process memory map, Alt-M) e notare che questo indirizzo è dentro il segmento PE .data del nostro programma:

Memory map									
Address	Size	Owner	Section	Contains	Type	Access	Initial	Mapped as	
00070000	00067000				Map	R	R		
00190000	00050000			Heap	Priv	RW			
00209000	00007000				Priv	RW	Gua:	RW	Gua:
0044C000	00001000				Priv	RW	Gua:	RW	Gua:
0044D000	00003000			Stack of main thread	Priv	RW		RW	
00590000	00007000				Priv	RW		RW	
00750000	0000C000			Default heap	Priv	RW		RW	
00C50000	00001000	ex2		PE header	Ing	R	E	RWE	Cop:
00C51000	00001000	ex2	.text	Code	Ing	R		RWE	Cop:
00C52000	00001000	ex2	.rdata	Imports	Ing	R		RWE	Cop:
00C53000	00001000	ex2	.data	Data	Ing	RW		RWE	Cop:
00C54000	00001000	ex2	.reloc	Relocations	Ing	R		RWE	Cop:
6E3E0000	00001000	MSUCR100		PE header	Ing	R		RWE	Cop:
6E3E1000	00002000	MSUCR100	.text	Code, imports, exports	Ing	R	E	RWE	Cop:
6E493000	00006000	MSUCR100	.data	Data	Ing	RW		RWE	Cop:
6E499000	00001000	MSUCR100	.rsrc	Resources	Ing	R		RWE	Cop:
6E49A000	00005000	MSUCR100	.reloc	Relocations	Ing	R		RWE	Cop:
755D0000	00001000	Mod_755D		PE header	Ing	R		RWE	Cop:
755D1000	00003000				Ing	R	E	RWE	Cop:
755D4000	00001000				Ing	RW		RWE	Cop:
755D5000	00003000				Ing	R		RWE	Cop:
755E0000	00001000	Mod_755E		PE header	Ing	R		RWE	Cop:
755E1000	0004D000				Ing	R	E	RWE	Cop:
7562E000	00005000				Ing	RW		RWE	Cop:
75633000	00009000				Ing	R		RWE	Cop:
75640000	00001000	Mod_7564		PE header	Ing	R		RWE	Cop:
75641000	00038000				Ing	R	E	RWE	Cop:
75679000	00002000				Ing	RW		RWE	Cop:
7567B000	00004000				Ing	R		RWE	Cop:
76F50000	00010000	kernel32		PE header	Ing	R		RWE	Cop:
76F60000	0000B000	kernel32	.text	Code, imports, exports	Ing	R	E	RWE	Cop:
77030000	00010000	kernel32	.data	Data	Ing	RW		RWE	Cop:
77040000	00010000	kernel32	.rsrc	Resources	Ing	R		RWE	Cop:
77050000	0000B000	kernel32	.reloc	Relocations	Ing	R		RWE	Cop:
77810000	00001000	KERNELBASE		PE header	Ing	R		RWE	Cop:
77811000	00040000	KERNELBASE	.text	Code, imports, exports	Ing	R	E	RWE	Cop:
77851000	00002000	KERNELBASE	.data	Data	Ing	RW		RWE	Cop:
77853000	00001000	KERNELBASE	.rsrc	Resources	Ing	R		RWE	Cop:
77854000	00003000	KERNELBASE	.reloc	Relocations	Ing	R		RWE	Cop:
77B20000	00001000	Mod_77B2		PE header	Ing	R		RWE	Cop:
77B21000	001B2000				Ing	R	E	RWE	Cop:
77C23000	00002000				Ing	R		RWE	Cop:
77C52000	0000C000				Ing	RW		RWE	Cop:
77C5E000	0006B000				Ing	R		RWE	Cop:
77D00000	00001000	ntdll		PE header	Ing	R		RWE	Cop:
77D10000	00006000	ntdll	.text	Code, exports	Ing	R	E	RWE	Cop:
77D70000	00001000	ntdll	RT	Code	Ing	R	E	RWE	Cop:
77E00000	00009000	ntdll	.data	Data	Ing	RW		RWE	Cop:

Figura 1.17: OllyDbg: process memory map

GCC: x86

La situazione in Linux è pressoché identica, con la differenza che le variabili non inizializzate sono collocate nel segmento `_bss`. In un file [ELF](#)⁷⁵ questo segmento ha i seguenti attributi:

```
; Segment type: Uninitialized
; Segment permissions: Read/Write
```

Se invece si inizializza la variabile con un qualunque valore, es. 10, sarà collocata nel segmento `data`, che ha i seguenti attributi:

```
; Segment type: Pure data
; Segment permissions: Read/Write
```

⁷⁵ Executable and Linkable Format: Formato di file eseguibile largamente utilizzato nei sistemi *NIX, Linux incluso

MSVC: x64

Listing 1.78: MSVC 2012 x64

```

_DATA    SEGMENT
COMM     x:DWORD
$SG2924 DB      'Enter X:', 0aH, 00H
$SG2925 DB      '%d', 00H
$SG2926 DB      'You entered %d...', 0aH, 00H
_DATA    ENDS

_TEXT    SEGMENT
main     PROC
$LN3:
        sub     rsp, 40

        lea     rcx, OFFSET FLAT:$SG2924 ; 'Enter X:'
        call    printf
        lea     rdx, OFFSET FLAT:x
        lea     rcx, OFFSET FLAT:$SG2925 ; '%d'
        call    scanf
        mov     edx, DWORD PTR x
        lea     rcx, OFFSET FLAT:$SG2926 ; 'You entered %d...'
        call    printf

        ; ritorna 0
        xor     eax, eax

        add     rsp, 40
        ret     0
main     ENDP
_TEXT    ENDS

```

Il codice è pressoché identico a quello in x86. Si noti che l'indirizzo della variabile *x* è passato a `scanf()` usando un'istruzione `LEA`, mentre il valore della variabile è passato alla seconda `printf()` usando un'istruzione `MOV`. `DWORD PTR`— è parte del linguaggio assembly (non ha a che vedere con il codice macchina), indica che la dimensione del dato della variabile è 32-bit e l'istruzione `MOV` deve essere codificata in accordo alla dimensione.

ARM: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)

Listing 1.79: IDA

```

.text:00000000 ; Segment type: Pure code
.text:00000000      AREA .text, CODE
...
.text:00000000 main
.text:00000000      PUSH    {R4,LR}
.text:00000002      ADR     R0, aEnterX ; "Enter X:\n"
.text:00000004      BL      __2printf
.text:00000008      LDR     R1, =x
.text:0000000A      ADR     R0, ad      ; "%d"

```



```

.text:0000000C      BL      __0scanf
.text:00000010      LDR      R0, =x
.text:00000012      LDR      R1, [R0]
.text:00000014      ADR      R0, aYouEnteredD___ ; "You entered %d...\n"
.text:00000016      BL      __2printf
.text:0000001A      MOVS     R0, #0
.text:0000001C      POP      {R4,PC}
...
.text:00000020 aEnterX DCB "Enter X:",0xA,0 ; DATA XREF: main+2
.text:0000002A      DCB      0
.text:0000002B      DCB      0
.text:0000002C off_2C DCD x ; DATA XREF: main+8
.text:0000002C      ; main+10
.text:00000030 aD      DCB "%d",0 ; DATA XREF: main+A
.text:00000033      DCB      0
.text:00000034 aYouEnteredD___ DCB "You entered %d...",0xA,0 ; DATA XREF:
main+14
.text:00000047      DCB      0
.text:00000047 ; .text ends
.text:00000047
...
.data:00000048 ; Segment type: Pure data
.data:00000048 AREA .data, DATA
.data:00000048 ; ORG 0x48
.data:00000048 EXPORT x
.data:00000048 x DCD 0xA ; DATA XREF: main+8
.data:00000048 ; main+10
.data:00000048 ; .data ends

```

La variabile `x` è ora globale, e perciò è collocata in un altro segmento, ovvero il data segment (`.data`). Ci si potrebbe chiedere perchè le stringhe testuali sono collocate nel code segment (`.text`) e `x` nel data segment. Il motivo risiede nel fatto che `x` è una variabile, e per definizione il suo valore potrebbe cambiare (e anche spesso). Le stringhe testuali hanno invece tipo costante, non verranno modificate, e sono quindi collocate nel segmento `.text`.

Il code segment può a volte trovarsi in un chip [ROM](#)⁷⁶ (ricordiamoci che oggi si ha spesso a che fare con embedded microelectronics, in cui è comune la scarsità di memoria), e le variabili mutevoli —in [RAM](#).

Memorizzare variabili costanti in RAM non si rivela molto economico quando si ha a disposizione una ROM. Oltretutto, le variabili costanti in RAM devono essere inizializzate, in quanto dopo l'accensione la RAM, ovviamente, contiene informazioni random.

Andando avanti vediamo un puntatore alla variabile `x` (`off_2C`) nel code segment, e notiamo che tutte le operazioni con quella variabile avvengono attraverso questo puntatore.

Il motivo per cui ciò avviene è che la variabile `x` potrebbe trovarsi da qualche parte, lontano da questo particolare frammento di codice. Quindi il suo indirizzo deve essere salvato da qualche parte in prossimità del codice.

⁷⁶Memoria di sola lettura (Read-Only Memory)

L'istruzione LDR in Thumb mode può indirizzare soltanto variabili in un intervallo di 1020 byte dalla sua posizione,

e in ARM-mode —variabili in un raggio di ± 4095 byte.

Quindi l'indirizzo della variabile *x* deve trovarsi nelle vicinanze, poichè non c'è garanzia che il linker sia in grado di collocare la variabile sufficientemente vicina al codice (potrebbe addirittura trovarsi in un chip di memoria esterno!).

Un'altra cosa: se una variabile è dichiarata come *const*, il compilatore Keil la colloca nel segmento `.constdata`. Forse successivamente il linker potrebbe piazzare anche questo segmento nella ROM, insieme al code segment.

ARM64

Listing 1.80: Senza ottimizzazione GCC 4.9.1 ARM64

```

1      .comm    x,4,4
2      .LC0:
3          .string "Enter X:"
4      .LC1:
5          .string "%d"
6      .LC2:
7          .string "You entered %d...\n"
8      f5:
9      ; salva FP e LR nello stack frame:
10         stp    x29, x30, [sp, -16]!
11      ; imposta lo stack frame (FP=SP)
12         add    x29, sp, 0
13      ; imposta il puntatore alla stringa "Enter X:":
14         adrp   x0, .LC0
15         add    x0, x0, :lo12:LC0
16         bl     puts
17      ; imposta il puntatore alla stringa "%d":
18         adrp   x0, .LC1
19         add    x0, x0, :lo12:LC1
20      ; forma l'indirizzo della variabile globale x:
21         adrp   x1, x
22         add    x1, x1, :lo12:x
23         bl     __isoc99_scanf
24      ; forma di nuovo l'indirizzo della variabile globale x:
25         adrp   x0, x
26         add    x0, x0, :lo12:x
27      ; carica il valore dalla memoria a questo indirizzo:
28         ldr    w1, [x0]
29      ; imposta il puntatore alla stringa "You entered %d...\n":
30         adrp   x0, .LC2
31         add    x0, x0, :lo12:LC2
32         bl     printf
33      ; ritorna 0
34         mov    w0, 0
35      ; ripristina FP e LR:
36         ldp    x29, x30, [sp], 16
37         ret

```

In questo caso la variabile x è dichiarata come globale ed il suo indirizzo è calcolato utilizzando la coppia di istruzioni ADRP/ADD (righe 21 e 25).

MIPS

Variabili globali non inizializzate

La variabile x è ora globale. Compiliamo in un file eseguibile anziché oggetto e carichiamolo in IDA. IDA mostra la variabile x nella sezione ELF .sbss (ricordate il «Global Pointer»? [1.5.4 on page 33](#)), poiché la variabile non è inizialmente inizializzata.

Listing 1.81: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```
.text:004006C0 main:
.text:004006C0
.text:004006C0 var_10 = -0x10
.text:004006C0 var_4 = -4
.text:004006C0
; prologo funzione:
.text:004006C0      lui      $gp, 0x42
.text:004006C4      addiu    $sp, -0x20
.text:004006C8      li       $gp, 0x418940
.text:004006CC      sw       $ra, 0x20+var_4($sp)
.text:004006D0      sw       $gp, 0x20+var_10($sp)
; chiama puts():
.text:004006D4      la       $t9, puts
.text:004006D8      lui      $a0, 0x40
.text:004006DC      jalr     $t9 ; puts
.text:004006E0      la       $a0, aEnterX      # "Enter X:" ; branch delay
slot
; chiama scanf():
.text:004006E4      lw       $gp, 0x20+var_10($sp)
.text:004006E8      lui      $a0, 0x40
.text:004006EC      la       $t9, __isoc99_scanf
; prepara l'indirizzo di x:
.text:004006F0      la       $a1, x
.text:004006F4      jalr     $t9 ; __isoc99_scanf
.text:004006F8      la       $a0, aD          # "%d" ; branch delay slot
; chiama printf():
.text:004006FC      lw       $gp, 0x20+var_10($sp)
.text:00400700      lui      $a0, 0x40
; prendi l'indirizzo di x:
.text:00400704      la       $v0, x
.text:00400708      la       $t9, printf
; prendi il valore dalla variabile "x" e passala a printf() in $a1:
.text:0040070C      lw       $a1, (x - 0x41099C)($v0)
.text:00400710      jalr     $t9 ; printf
.text:00400714      la       $a0, aYouEnteredD___ # "You entered %d...\n"
; branch delay slot
; epilogo funzione:
.text:00400718      lw       $ra, 0x20+var_4($sp)
.text:0040071C      move     $v0, $zero
.text:00400720      jr       $ra
```

```
.text:00400724      addiu    $sp, 0x20 ; branch delay slot

...

.sbss:0041099C # Segment type: Uninitialized
.sbss:0041099C      .sbss
.sbss:0041099C      .globl x
.sbss:0041099C x:    .space 4
.sbss:0041099C
```

IDA riduce la quantità di informazioni, quindi facciamo anche un listing usando objdump e lo commentiamo:

Listing 1.82: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (objdump)

```
1 004006c0 <main>:
2 ; prologo funzione:
3 4006c0: 3c1c0042 lui gp,0x42
4 4006c4: 27bdf0e0 addiu sp,sp,-32
5 4006c8: 279c8940 addiu gp,gp,-30400
6 4006cc: afbf001c sw ra,28(sp)
7 4006d0: afbc0010 sw gp,16(sp)
8 ; chiama puts():
9 4006d4: 8f998034 lw t9,-32716(gp)
10 4006d8: 3c040040 lui a0,0x40
11 4006dc: 0320f809 jalr t9
12 4006e0: 248408f0 addiu a0,a0,2288 ; branch delay slot
13 ; chiama scanf():
14 4006e4: 8fbc0010 lw gp,16(sp)
15 4006e8: 3c040040 lui a0,0x40
16 4006ec: 8f998038 lw t9,-32712(gp)
17 ; prepara l'indirizzo di x:
18 4006f0: 8f858044 lw a1,-32700(gp)
19 4006f4: 0320f809 jalr t9
20 4006f8: 248408fc addiu a0,a0,2300 ; branch delay slot
21 ; chiama printf():
22 4006fc: 8fbc0010 lw gp,16(sp)
23 400700: 3c040040 lui a0,0x40
24 ; prendi l'indirizzo di x:
25 400704: 8f828044 lw v0,-32700(gp)
26 400708: 8f99803c lw t9,-32708(gp)
27 ; prendi il valore di "x" e passalo a printf() in $a1:
28 40070c: 8c450000 lw a1,0(v0)
29 400710: 0320f809 jalr t9
30 400714: 24840900 addiu a0,a0,2304 ; branch delay slot
31 ; epilogo funzione:
32 400718: 8fbc001c lw ra,28(sp)
33 40071c: 00001021 move v0,zero
34 400720: 03e00008 jr ra
35 400724: 27bd0020 addiu sp,sp,32 ; branch delay slot
36 ; serie di NOP usata per allineare l'inizio della prossima funzione ad un
    confine di 16-byte:
37 400728: 00200825 move at,at
38 40072c: 00200825 move at,at
```

Vediamo che l'indirizzo della variabile x viene letto da un buffer dati di 64KiB usando il GP a cui viene sommato un offset negativo (riga 18). Inoltre gli indirizzi delle tre funzioni esterne usate nel programma (`puts()`, `scanf()`, `printf()`) sono anch'essi letti dal buffer dati globale di 64KiB usando il GP (righe 9, 16 e 26). GP punta a metà del buffer, e gli offset suggeriscono che gli indirizzi delle tre funzioni e della variabile sono tutti memorizzati da qualche parte vicino all'inizio di quel buffer. Ciò ha senso in quanto il nostro esempio è davvero molto piccolo.

Un'altra cosa che vale la pena notare è che la funzione finisce con due `NOP` (`MOVE $AT, $AT` — una "idle instruction"), per allineare l'inizio della prossima funzione ad un confine di 16-byte.

Variabile globale inizializzata

Modifichiamo il nostro esempio assegnando un valore predefinito alla variabile x :

```
int x=10; // valore di default
```

Adesso IDA mostra che la variabile x risiede nella sezione `.data`:

Listing 1.83: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```
.text:004006A0 main:
.text:004006A0
.text:004006A0 var_10 = -0x10
.text:004006A0 var_8 = -8
.text:004006A0 var_4 = -4
.text:004006A0
.text:004006A0      lui      $gp, 0x42
.text:004006A4      addiu   $sp, -0x20
.text:004006A8      li       $gp, 0x418930
.text:004006AC      sw       $ra, 0x20+var_4($sp)
.text:004006B0      sw       $s0, 0x20+var_8($sp)
.text:004006B4      sw       $gp, 0x20+var_10($sp)
.text:004006B8      la       $t9, puts
.text:004006BC      lui      $a0, 0x40
.text:004006C0      jalr     $t9 ; puts
.text:004006C4      la       $a0, aEnterX      # "Enter X:"
.text:004006C8      lw       $gp, 0x20+var_10($sp)
; prepara la parte alta dell'indirizzo di x:
.text:004006CC      lui      $s0, 0x41
.text:004006D0      la       $t9, __isoc99_scanf
.text:004006D4      lui      $a0, 0x40
; aggiungi la parte bassa dell'indirizzo di x:
.text:004006D8      addiu   $a1, $s0, (x - 0x410000)
; ora l'indirizzo di x è in $a1.
.text:004006DC      jalr     $t9 ; __isoc99_scanf
.text:004006E0      la       $a0, aD      # "%d"
.text:004006E4      lw       $gp, 0x20+var_10($sp)
; prendi una word dalla memoria:
.text:004006E8      lw       $a1, x
; ora il valore di x è in $a1.
```

```

.text:004006EC      la      $t9, printf
.text:004006F0      lui      $a0, 0x40
.text:004006F4      jalr     $t9 ; printf
.text:004006F8      la      $a0, aYouEnteredD___ # "You entered %d...\n"
.text:004006FC      lw      $ra, 0x20+var_4($sp)
.text:00400700      move    $v0, $zero
.text:00400704      lw      $s0, 0x20+var_8($sp)
.text:00400708      jr      $ra
.text:0040070C      addiu   $sp, 0x20

...

.data:00410920      .globl x
.data:00410920 x:    .word 0xA

```

Perchè non in `.sdata`? Può dipendere da qualche opzione di GCC?

Ciononostante `x` si trova in `.data`, e possiamo vedere come si lavora con variabili localizzate in questa area di memoria generica.

L'indirizzo della variabile deve essere formato utilizzando un paio di istruzioni.

Nel nostro caso sono LUI («Load Upper Immediate») e ADDIU («Add Immediate Unsigned Word»).

Vediamo anche il listato di `objdump` per maggiore approfondimento:

Listing 1.84: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (`objdump`)

```

004006a0 <main>:
 4006a0: 3c1c0042 lui      gp,0x42
 4006a4: 27bdf0e0 addiu    sp,sp,-32
 4006a8: 279c8930 addiu    gp,gp,-30416
 4006ac: afbf001c sw      ra,28(sp)
 4006b0: afb00018 sw      s0,24(sp)
 4006b4: afbc0010 sw      gp,16(sp)
 4006b8: 8f998034 lw      t9,-32716(gp)
 4006bc: 3c040040 lui      a0,0x40
 4006c0: 0320f809 jalr     t9
 4006c4: 248408d0 addiu    a0,a0,2256
 4006c8: 8fbc0010 lw      gp,16(sp)
; prepara la parte alta dell'indirizzo di x:
 4006cc: 3c100041 lui      s0,0x41
 4006d0: 8f998038 lw      t9,-32712(gp)
 4006d4: 3c040040 lui      a0,0x40
; aggiungi la parte bassa dell'indirizzo di x:
 4006d8: 26050920 addiu    a1,s0,2336
; ora l'indirizzo di x è in $a1.
 4006dc: 0320f809 jalr     t9
 4006e0: 248408dc addiu    a0,a0,2268
 4006e4: 8fbc0010 lw      gp,16(sp)
; la parte alta dell'indirizzo di x è ancora in $s0.
; aggiungigli la parte bassa e carica una word dalla memoria:
 4006e8: 8e050920 lw      a1,2336(s0)
; ora il valore di x è in $a1.

```

```

4006ec: 8f99803c lw      t9, -32708(gp)
4006f0: 3c040040 lui      a0, 0x40
4006f4: 0320f809 jalr     t9
4006f8: 248408e0 addiu    a0, a0, 2272
4006fc: 8fbf001c lw      ra, 28(sp)
400700: 00001021 move    v0, zero
400704: 8fb00018 lw      s0, 24(sp)
400708: 03e00008 jr      ra
40070c: 27bd0020 addiu    sp, sp, 32

```

Notiamo che l'indirizzo è formato usando LUI e ADDIU, ma la parte alta dell'indirizzo è ancora nel registro \$S0, ed è possibile codificare l'offset in un'istruzione LW («Load Word»), perciò una singola LW è sufficiente per caricare un valore dalla variabile e passarlo a `printf()`.

I registri che memorizzano dati temporanei hanno il prefisso T-, ma qui vediamo anche alcuni con prefisso S-, il cui contenuto deve essere preservato prima del loro utilizzo in altre funzioni (i.e., salvate altrove).

Questo è il motivo per cui il valore di \$S0 era stato settato all'indirizzo 0x4006cc e usato nuovamente all'indirizzo 0x4006e8, dopo la chiamata a `scanf()`. La funzione `scanf()` non ne cambia il valore.

1.12.4 `scanf()`

Come già detto in precedenza, usare `scanf()` oggi è un pò antiquato. Se proprio dobbiamo, è necessario almeno controllare se `scanf()` termina correttamente senza errori.

```

#include <stdio.h>

int main()
{
    int x;
    printf ("Enter X:\n");

    if (scanf ("%d", &x)==1)
        printf ("You entered %d...\n", x);
    else
        printf ("What you entered? Huh?\n");

    return 0;
};

```

Per standard, la funzione `scanf()`⁷⁷ restituisce il numero di campi che è riuscita a leggere con successo. Nel nostro caso, se tutto va bene e l'utente inserisce un numero, `scanf()` restituisce 1, oppure 0 (o EOF⁷⁸) in caso di errore.

Aggiungiamo un po' di codice C per controllare che `scanf()` restituisca un valore e stampi un messaggio in caso di errore.

⁷⁷`scanf`, `wscanf`: [MSDN](#)

⁷⁸End of File

Funziona come ci si aspetta:

```
C:\...\>ex3.exe
Enter X:
123
You entered 123...

C:\...\>ex3.exe
Enter X:
ouch
What you entered? Huh?
```

MSVC: x86

Questo è l'output assembly ottenuto con MSVC 2010:

```
        lea     eax, DWORD PTR _x$[ebp]
        push    eax
        push    OFFSET $SG3833 ; '%d', 00H
        call    _scanf
        add     esp, 8
        cmp     eax, 1
        jne     SHORT $LN2@main
        mov     ecx, DWORD PTR _x$[ebp]
        push    ecx
        push    OFFSET $SG3834 ; 'You entered %d...', 0aH, 00H
        call    _printf
        add     esp, 8
        jmp     SHORT $LN1@main
$LN2@main:
        push    OFFSET $SG3836 ; 'What you entered? Huh?', 0aH, 00H
        call    _printf
        add     esp, 4
$LN1@main:
        xor     eax, eax
```

La funzione chiamante ([chiamante](#)) `main()` necessita di ottenere il risultato della funzione chiamata ([chiamata](#)), e pertanto quest'ultima lo restituisce nel registro EAX register.

Il controllo viene eseguito con l'aiuto dell'istruzione `CMP EAX, 1` (*CoMPare*). In altre parole, confrontiamo il valore nel registro EAX con 1.

U jump condizionale JNE segue l'istruzione CMP. JNE sta per *Jump if Not Equal*.

Quindi, se il valore nel registro EAX non è uguale a 1, la CPU passerà l'esecuzione all'indirizzo specificato nell'operando di JNE, nel nostro caso `$LN2@main`. Passare il controllo a questo indirizzo risulta nel fatto che la CPU eseguirà la funzione `printf()` con l'argomento `What you entered? Huh?`. Ma se tutto va bene, il salto condizionale non viene effettuato, e viene eseguita un'altra chiamata a `printf()` con due argomenti: `'You entered %d...'` e il valore di `x`.

Poichè in questo caso la seconda `printf()` non deve essere eseguita, c'è un `jump` non condizionale (unconditional jump) `JMP` che la precede. Questo passa il controllo al punto dopo la seconda `printf()` e prima dell'istruzione `XOR EAX, EAX`, che implementa `return 0`.

Possiamo quindi dire che il confronto di valori è *solitamente* implementato con una coppia di istruzioni `CMP/Jcc`, dove *cc* è un *condition code*. `CMP` confronta due valori e imposta i flag del processore⁷⁹. `Jcc` controlla questi flag e decide se passare o meno il controllo all'indirizzo specificato.

Può sembrare un paradosso, ma l'istruzione `CMP` è in effetti una `SUB` (subtract). Tutte le istruzioni aritmetiche settano i flag del processore, non solo `CMP`. Se confrontiamo 1 e 1, $1 - 1$ è 0 e quindi il flag `ZF` sarebbe impostato a 1 (significando che l'ultimo risultato era 0). In nessun'altra circostanza il flag `ZF` può essere impostato, eccetto il caso in cui gli operandi sono uguali. `JNE` controlla soltanto il flag `ZF` e salta se e solo se il flag non è settato. `JNE` è infatti un sinonimo di `JNZ` (*Jump if Not Zero*). L'assembler traduce entrambe le istruzioni `JNE` e `JNZ` nello stesso opcode. Quindi l'istruzione `CMP` può essere sostituita dall'istruzione `SUB` e quasi tutto funzionerà, con la differenza che `SUB` altera il valore del primo operando. `CMP` è uguale a `SUB` senza salvare il risultato, ma settando i flag.

MSVC: x86: IDA

E' arrivato il momento di avviare [IDA](#). A proposito, per i principianti è buona norma usare l'opzione `/MD` in MSVC, che significa che tutte le funzioni standard non saranno linkate dentro il file eseguibile, ma importate dal file `MSVCR*.DLL`. In questo modo sarà più facile vedere quali funzioni standard sono usate, e dove.

Quando si analizza il codice con [IDA](#), è sempre molto utile lasciare note per se stessi (e per gli altri, nel caso in cui si lavori in gruppo). Per esempio, analizzando questo esempio, notiamo che `JNZ` sarà innescato in caso di errore. E' possibile muovere il cursore fino alla label, premere «n» e rinominarla in «errore». Creare un'altra label—in «exit». Ecco il mio risultato:

```
.text:00401000 _main proc near
.text:00401000
.text:00401000 var_4 = dword ptr -4
.text:00401000 argc = dword ptr 8
.text:00401000 argv = dword ptr 0Ch
.text:00401000 envp = dword ptr 10h
.text:00401000
.text:00401000      push    ebp
.text:00401001      mov     ebp, esp
.text:00401003      push    ecx
.text:00401004      push    offset Format ; "Enter X:\n"
.text:00401009      call    ds:printf
.text:0040100F      add     esp, 4
.text:00401012      lea     eax, [ebp+var_4]
.text:00401015      push    eax
.text:00401016      push    offset aD ; "%d"
.text:0040101B      call    ds:scanf
```

⁷⁹x86 flags, vedere anche: [wikipedia](#).

```

.text:00401021      add     esp, 8
.text:00401024      cmp     eax, 1
.text:00401027      jnz     short error
.text:00401029      mov     ecx, [ebp+var_4]
.text:0040102C      push    ecx
.text:0040102D      push    offset aYou ; "You entered %d...\n"
.text:00401032      call   ds:printf
.text:00401038      add     esp, 8
.text:0040103B      jmp     short exit
.text:0040103D
.text:0040103D error: ; CODE XREF: _main+27
.text:0040103D      push    offset aWhat ; "What you entered? Huh?\n"
.text:00401042      call   ds:printf
.text:00401048      add     esp, 4
.text:0040104B
.text:0040104B exit: ; CODE XREF: _main+3B
.text:0040104B      xor     eax, eax
.text:0040104D      mov     esp, ebp
.text:0040104F      pop     ebp
.text:00401050      retn
.text:00401050 _main endp

```

Adesso è leggermente più facile capire il codice. Non è comunque una buona idea commentare ogni istruzione!

Si possono anche nascondere (collapse) parti di una funzione in [IDA](#). Per farlo, selezionare il blocco e premere Ctrl-«-» sul tastierino numerico, inserendo il testo da visualizzare al posto del blocco di codice.

Nascondiamo due blocchi e diamogli un nome:

```

.text:00401000 _text segment para public 'CODE' use32
.text:00401000      assume cs:_text
.text:00401000      ;org 401000h
.text:00401000 ; ask for X
.text:00401012 ; get X
.text:00401024      cmp     eax, 1
.text:00401027      jnz     short error
.text:00401029 ; print result
.text:0040103B      jmp     short exit
.text:0040103D
.text:0040103D error: ; CODE XREF: _main+27
.text:0040103D      push    offset aWhat ; "What you entered? Huh?\n"
.text:00401042      call   ds:printf
.text:00401048      add     esp, 4
.text:0040104B
.text:0040104B exit: ; CODE XREF: _main+3B
.text:0040104B      xor     eax, eax
.text:0040104D      mov     esp, ebp
.text:0040104F      pop     ebp
.text:00401050      retn
.text:00401050 _main endp

```

Per espandere dei blocchi nascosti, premere Ctrl-«+» sul tastierino numerico.

Premendo «spazio», possiamo vedere come IDA rappresenta una funzione in forma di grafo:

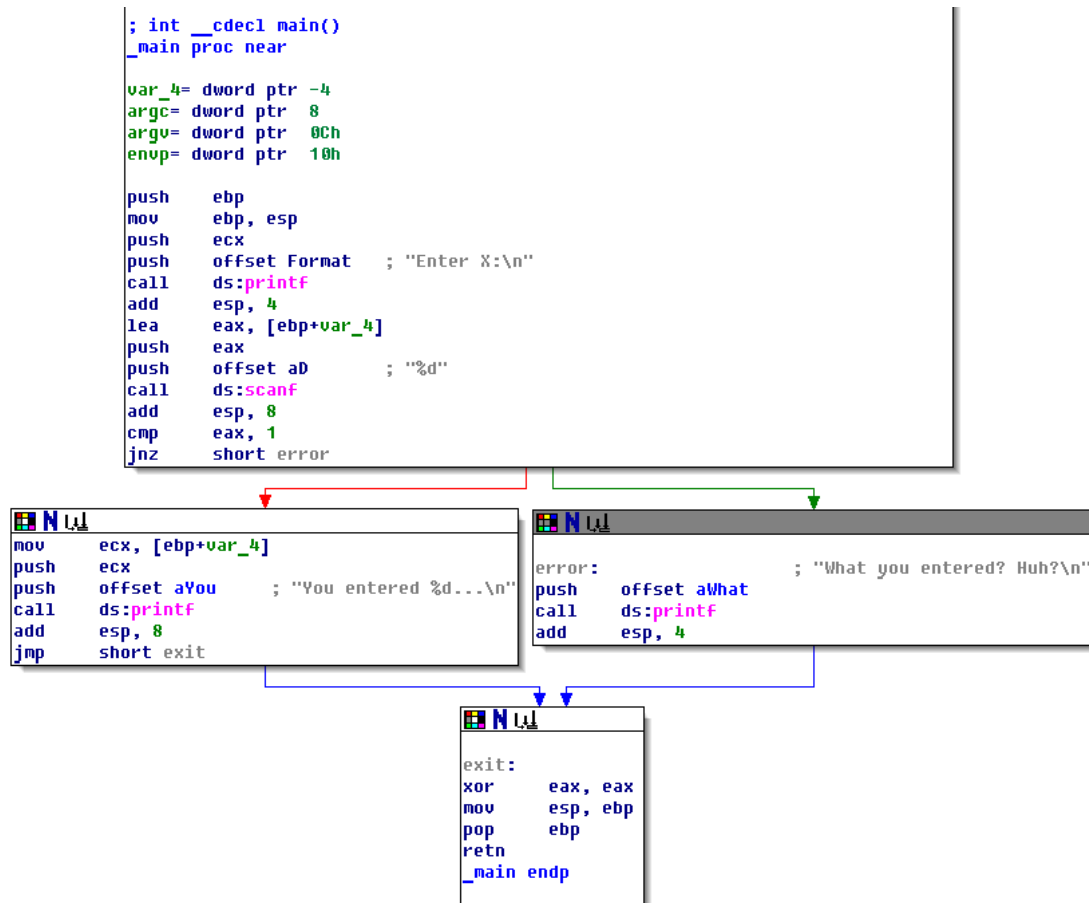


Figura 1.18: Graph mode in IDA

Ci sono due frecce dopo ogni jump condizionale: verde e rossa. La freccia verde punta al blocco che viene eseguito se il jump è innescato, la rossa nel caso opposto.

Anche in questa modalità è possibile "chiudere" i nodi e dargli un'etichetta («group nodes»). Facciamolo per 3 blocchi:

```
; int __cdecl main()
_main proc near

var_4= dword ptr -4
argc= dword ptr  8
argv= dword ptr  0Ch
envp= dword ptr  10h

push    ebp
mov     ebp, esp
push    ecx
push    offset Format    ; "Enter X:\n"
call    ds:printf
add     esp, 4
lea     eax, [ebp+var_4]
push    eax
push    offset aD        ; "%d"
call    ds:scanf
add     esp, 8
cmp     eax, 1
jnz     short error
```

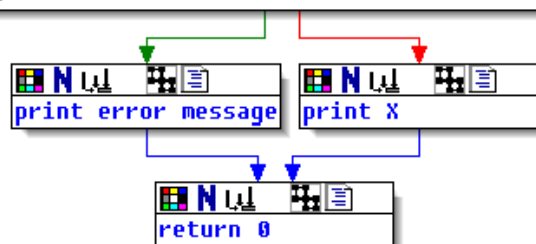


Figura 1.19: Graph mode in IDA con 3 nodi "chiusi"

Come si può vedere questa funzione è molto utile. Si può dire che una buona parte del lavoro di un reverse engineer (così come di altri tipi di ricercatori) è rappresentata dalla riduzione della quantità di informazioni da trattare.

MSVC: x86 + OllyDbg

Proviamo ad hackerare il nostro programma in OllyDbg, forzandolo a pensare che scanf() funzioni sempre senza errori. Quando l'indirizzo di una variabile locale è passato a scanf(), la variabile inizialmente contiene un valore random inutile, in questo caso 0x6E494714:

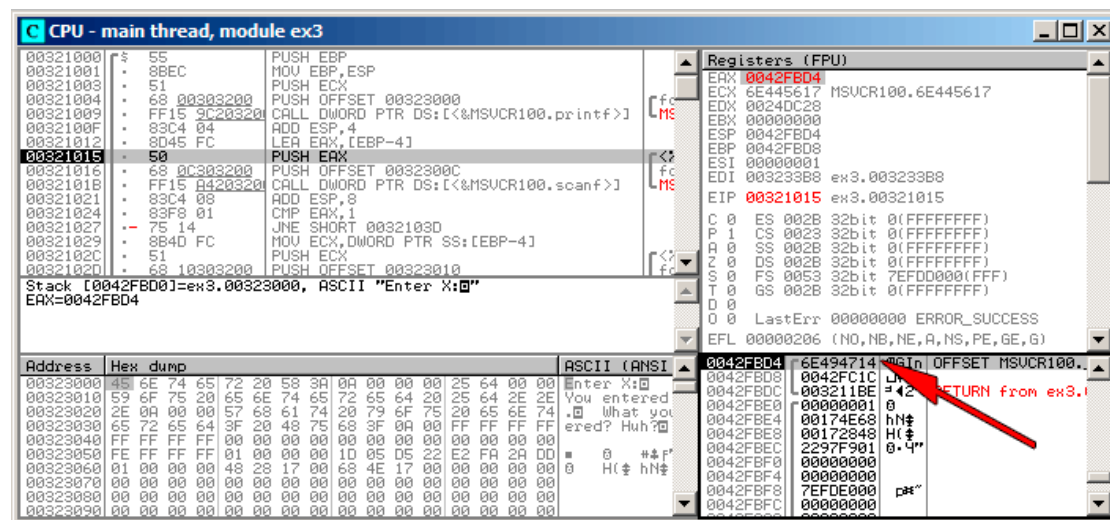


Figura 1.20: OllyDbg: passaggio dell'indirizzo della variabile a scanf()

Quando `scanf()` viene eseguita, immettiamo nella console qualcosa di diverso da un numero, come «asdasd». `scanf()` finisce con 0 in EAX, indicante che un errore si è verificato.

Possiamo anche controllare la variabile locale nello stack e notare che non è stata modificata. Infatti cosa avrebbe potuto scrivere `scanf()` in essa? Non ha fatto niente oltre che restituire zero.

Proviamo ad «hackerare» il nostro programma. Click destro su EAX, Tra le opzioni vediamo «Set to 1». Esattamente ciò che ci serve.

Adesso abbiamo 1 in EAX, il controllo successivo sta per essere eseguito come previsto, e `printf()` stamperà il valore della variabile nello stack.

Quando avviamo il programma (F9) vediamo il seguente output nella finestra della console:

Listing 1.85: finestra della console

```
Enter X:
asdasd
You entered 1850296084...
```

1850296084 è infatti la rappresentazione decimale del numero nello stack (0x6E494714)!

MSVC: x86 + Hiew

Quanto detto può essere anche usato come semplice esempio di patching di un eseguibile. Possiamo provare a modificare l'eseguibile in modo che il programma stampi sempre l'input, a prescindere da cosa si inserisce.

Assumendo che l'eseguibile sia compilato rispetto MSVCR*.DLL esterna (ovvero con l'opzione /MD)⁸⁰, vediamo la funzione main() all'inizio della sezione .text. Apriamo l'eseguibile con Hiew e troviamo l'inizio della sezione .text (Enter, F8, F6, Enter, Enter).

Vedremo questo:

```

Hiew: ex3.exe
C:\Polygon\ollydbg\ex3.exe  F8RO ----- a32 PE .00401000 Hie
.00401000: 55          push     ebp
.00401001: 8BEC       mov      ebp,esp
.00401003: 51          push     ecx
.00401004: 6800304000 push     000403000 ;'Enter X:' --E1
.00401009: FF1594204000 call     printf
.0040100F: 83C404     add      esp,4
.00401012: 8D45FC     lea      eax,[ebp][-4]
.00401015: 50          push     eax
.00401016: 680C304000 push     00040300C --E2
.0040101B: FF158C204000 call     scanf
.00401021: 83C408     add      esp,8
.00401024: 83F801     cmp      eax,1
.00401027: 7514       jnz      .0040103D --E3
.00401029: 8B4DFC     mov      ecx,[ebp][-4]
.0040102C: 51          push     ecx
.0040102D: 6810304000 push     000403010 ;'You entered %d...'
.00401032: FF1594204000 call     printf
.00401038: 83C408     add      esp,8
.0040103B: EB0E       jmps     .0040104B --E5
.0040103D: 6824304000 3push    000403024 ;'What you entered?'
.00401042: FF1594204000 call     printf
.00401048: 83C404     add      esp,4
.0040104B: 33C0       5xor     eax,eax
.0040104D: 8BE5       mov      esp,ebp
.0040104F: 5D          pop      ebp
.00401050: C3         retn ; ^.^.^.^.^.^.^.^.^.^.^.^.^.^.^.^
.00401051: B84D5A0000 mov      eax,00005A4D ;' ZM'
1Global 2FilBlk 3CryBlk 4ReLoad 5OrdLdr 6String 7Direct 8Table 9byte 10Leave 11Nak

```

Figura 1.21: Hiew: funzione main()

Hiew trova le stringhe [ASCIIZ](#)⁸¹ e le visualizza, così come i nomi delle funzioni impo-

⁸⁰detta anche «dynamic linking»

⁸¹ASCII Zero ()



Premiamo quindi F9 (update). L'eseguibile viene quindi salvato su disco, e si comporterà come vogliamo.

Utilizzare due **NOP** non rappresenta l'approccio esteticamente migliore. Un altro modo di patchare questa istruzione è scrivere 0 al secondo byte dell'opcode (**offset di salto**), in modo che JNZ salti sempre alla prossima istruzione.

Potremmo anche fare l'opposto: sostituire il primo byte con EB senza toccare il secondo byte (**offset di salto**). Otterremmo un jump non condizionale che è sempre eseguito. In questo caso il messaggio di errore sarebbe stampato sempre, a prescindere dall'input.

MSVC: x64

Poichè qui lavoriamo con variabili di tipo *int*, che sono sempre a 32-bit in x86-64, vediamo che viene usata la parte a 32-bit dei registri (con il prefisso E-). Lavorando invece con i puntatori, sono usate la parti a 64-bit dei registri (con il prefisso R-).

Listing 1.86: MSVC 2012 x64

```

_DATA    SEGMENT
$SG2924 DB      'Enter X:', 0aH, 00H
$SG2926 DB      '%d', 00H
$SG2927 DB      'You entered %d...', 0aH, 00H
$SG2929 DB      'What you entered? Huh?', 0aH, 00H
_DATA    ENDS

_TEXT    SEGMENT
x$ = 32
main     PROC
$LN5:
    sub     rsp, 56
    lea     rcx, OFFSET FLAT:$SG2924 ; 'Enter X:'
    call    printf
    lea     rdx, QWORD PTR x$[rsp]
    lea     rcx, OFFSET FLAT:$SG2926 ; '%d'
    call    scanf
    cmp     eax, 1
    jne     SHORT $LN2@main
    mov     edx, DWORD PTR x$[rsp]
    lea     rcx, OFFSET FLAT:$SG2927 ; 'You entered %d...'
    call    printf
    jmp     SHORT $LN1@main
$LN2@main:
    lea     rcx, OFFSET FLAT:$SG2929 ; 'What you entered? Huh?'
    call    printf
$LN1@main:
    ; ritorna 0
    xor     eax, eax
    add     rsp, 56
    ret     0
main     ENDP
_TEXT    ENDS
END

```

ARM**ARM: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)**

Listing 1.87: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)

```

var_8    = -8

        PUSH    {R3,LR}
        ADR     R0, aEnterX      ; "Enter X:\n"

```

```

        BL      __2printf
        MOV     R1, SP
        ADR     R0, aD          ; "%d"
        BL      __0scanf
        CMP     R0, #1
        BEQ     loc_1E
        ADR     R0, aWhatYouEntered ; "What you entered? Huh?\n"
        BL      __2printf

loc_1A:                                ; CODE XREF: main+26
        MOV     R0, #0
        POP     {R3,PC}

loc_1E:                                ; CODE XREF: main+12
        LDR     R1, [SP,#8+var_8]
        ADR     R0, aYouEnteredD___ ; "You entered %d...\n"
        BL      __2printf
        B       loc_1A

```

Le due nuove istruzioni qui sono **CMP** e **BEQ**⁸².

CMP è analoga all'istruzione omonima in x86, sottrae uno degli argomenti dall'altro e aggiorna il conditional flags (se necessario).

BEQ salta ad un altro indirizzo se gli operandi sono uguali, o se il risultato dell'ultima operazione era 0, oppure ancora se il flag Z è 1. Si comporta come **JZ** in x86.

Tutto il resto è semplice: il flusso di esecuzione si divide in due rami, e successivamente i due rami convergono al punto in cui 0 viene scritto in R0 come valore di ritorno di una funzione, infine la funzione termina.

ARM64

Listing 1.88: Senza ottimizzazione GCC 4.9.1 ARM64

```

1  .LC0:
2      .string "Enter X:"
3  .LC1:
4      .string "%d"
5  .LC2:
6      .string "You entered %d...\n"
7  .LC3:
8      .string "What you entered? Huh?"
9  f6:
10 ; salva FP e LR nello stack frame:
11     stp     x29, x30, [sp, -32]!
12 ; imposta lo stack frame (FP=SP)
13     add     x29, sp, 0
14 ; imposta il puntatore alla stringa "Enter X:":
15     adrp    x0, .LC0
16     add     x0, x0, :lo12:.LC0

```

⁸²(PowerPC, ARM) Branch if Equal

```

17      bl      puts
18 ; imposta il puntatore alla stringa "%d":
19      adrp    x0, .LC1
20      add     x0, x0, :lo12:.LC1
21 ; calcola l'indirizzo della variabile x nello stack locale
22      add     x1, x29, 28
23      bl      __isoc99_scanf
24 ; il risultato di scanf() viene messo in W0.
25 ; controlla:
26      cmp     w0, 1
27 ; BNE è Branch if Not Equal
28 ; quindi se W0<>1, avverrà il salto a L2
29      bne     .L2
30 ; in questo momento W0=1, che significa niente errore
31 ; carica il valore di x dallo stack locale
32      ldr     w1, [x29,28]
33 ; imposta il puntatore alla stringa "You entered %d...\n":
34      adrp    x0, .LC2
35      add     x0, x0, :lo12:.LC2
36      bl      printf
37 ; salta il codice, il quale stampa la stringa "What you entered? Huh?"
38      b       .L3
39 .L2:
40 ; imposta il puntatore alla stringa "What you entered? Huh?":
41      adrp    x0, .LC3
42      add     x0, x0, :lo12:.LC3
43      bl      puts
44 .L3:
45 ; ritorna 0
46      mov     w0, 0
47 ; ripristina FP e LR:
48      ldp     x29, x30, [sp], 32
49      ret

```

Il flusso di codice in questo caso si divide con l'uso della coppia di istruzioni CMP/BNE (Branch if Not Equal).

MIPS

Listing 1.89: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```

.text:004006A0 main:
.text:004006A0
.text:004006A0 var_18    = -0x18
.text:004006A0 var_10    = -0x10
.text:004006A0 var_4     = -4
.text:004006A0
.text:004006A0          lui      $gp, 0x42
.text:004006A4          addiu   $sp, -0x28
.text:004006A8          li       $gp, 0x418960
.text:004006AC          sw       $ra, 0x28+var_4($sp)
.text:004006B0          sw       $gp, 0x28+var_18($sp)
.text:004006B4          la       $t9, puts

```

```

.text:004006B8      lui      $a0, 0x40
.text:004006BC      jalr     $t9 ; puts
.text:004006C0      la      $a0, aEnterX      # "Enter X:"
.text:004006C4      lw      $gp, 0x28+var_18($sp)
.text:004006C8      lui      $a0, 0x40
.text:004006CC      la      $t9, __isoc99_scanf
.text:004006D0      la      $a0, aD           # "%d"
.text:004006D4      jalr     $t9 ; __isoc99_scanf
.text:004006D8      addiu   $a1, $sp, 0x28+var_10 # branch delay slot
.text:004006DC      li      $v1, 1
.text:004006E0      lw      $gp, 0x28+var_18($sp)
.text:004006E4      beq     $v0, $v1, loc_40070C
.text:004006E8      or      $at, $zero       # branch delay slot, NOP
.text:004006EC      la      $t9, puts
.text:004006F0      lui      $a0, 0x40
.text:004006F4      jalr     $t9 ; puts
.text:004006F8      la      $a0, aWhatYouEntered # "What you entered?
                        Huh?"
.text:004006FC      lw      $ra, 0x28+var_4($sp)
.text:00400700      move    $v0, $zero
.text:00400704      jr      $ra
.text:00400708      addiu   $sp, 0x28

.text:0040070C loc_40070C:
.text:0040070C      la      $t9, printf
.text:00400710      lw      $a1, 0x28+var_10($sp)
.text:00400714      lui      $a0, 0x40
.text:00400718      jalr     $t9 ; printf
.text:0040071C      la      $a0, aYouEnteredD___ # "You entered
                        %d...\n"
.text:00400720      lw      $ra, 0x28+var_4($sp)
.text:00400724      move    $v0, $zero
.text:00400728      jr      $ra
.text:0040072C      addiu   $sp, 0x28

```

scanf() restituisce il risultato del suo lavoro nel registro \$V0. Ciò viene controllato all'indirizzo 0x004006E4 confrontando il valore in \$V0 con quello in \$V1 (1 era stato memorizzato in \$V1 precedentemente, a 0x004006DC). BEQ sta per «Branch Equal». Se i due valori sono uguali (cioè scanf() è terminata con successo), l'esecuzione salta all'indirizzo 0x0040070C.

Esercizio

Come possiamo vedere, le istruzioni JNE/JNZ possono essere scambiate con JE/JZ e viceversa. (lo stesso vale per BNE e BEQ). Ma se ciò avviene i blocchi base devono anch'essi essere scambiati. Provate a farlo in qualche esempio.

1.12.5 Esercizio

- <http://challenges.re/53>

1.13 Degno di nota: variabili globali vs locali

Ora sappiamo che all'inizio le variabili globali vengono riempite di zeri dall' OS ([1.12.3 on page 103](#), [ISO/IEC 9899:TC3 (C C99 standard), (2007)6.7.8p10]), ma ciò non avviene per le variabili locali ([1.9.4 on page 51](#)).

A volte, ci dimentichiamo di inizializzare una variabile globale e il nostro programma si basa sul fatto che avrà degli zeri all'inizio. Se in seguito spostiamo la variabile globale in una funzione rendendola locale, non sarà più azzerata all'inizio e potremmo avere dei bug come risultato.

1.14 Accesso agli argomenti

Abbiamo visto che la funzione chiamante ([chiamante](#)) passa gli argomenti alla funzione chiamata ([chiamata](#)) tramite lo stack. In che modo la funzione chiamata accede agli argomenti?

Listing 1.90: semplice esempio

```
#include <stdio.h>

int f (int a, int b, int c)
{
    return a*b+c;
};

int main()
{
    printf ("%d\n", f(1, 2, 3));
    return 0;
};
```

1.14.1 x86

MSVC

Ecco il risultato della compilazione con MSVC 2010 Express:

Listing 1.91: MSVC 2010 Express

```
_TEXT  SEGMENT
_a$ = 8      ; dimensione = 4
_b$ = 12     ; dimensione = 4
_c$ = 16     ; dimensione = 4
_f        PROC
    push     ebp
    mov      ebp, esp
    mov      eax, DWORD PTR _a$[ebp]
    imul     eax, DWORD PTR _b$[ebp]
    add      eax, DWORD PTR _c$[ebp]
    pop      ebp
    ret      0
```

```

_f      ENDP

_main   PROC
        push    ebp
        mov     ebp, esp
        push    3 ; 3° argomento
        push    2 ; 2° argomento
        push    1 ; 1° argomento
        call    _f
        add     esp, 12
        push    eax
        push    OFFSET $SG2463 ; '%d', 0aH, 00H
        call    _printf
        add     esp, 8
        ; ritorna 0
        xor     eax, eax
        pop     ebp
        ret     0
_main   ENDP

```

Vediamo che la funzione `main()` fa il push di 3 numeri sullo stack e chiama `f(int, int, int)`.

L'accesso agli argomenti all'interno della funzione `f()` è gestito con l'aiuto di macro come: `_a$ = 8`, allo stesso modo delle variabili locali, ma con offset positivi. Si sta quindi indirizzando il lato *esterno* dello [stack frame](#) sommando la macro `_a$` al valore contenuto nel registro EBP.

Successivamente il valore di *a* è memorizzato in EAX. A seguito dell'esecuzione dell'istruzione `IMUL`, il valore in EAX è il [prodotto](#) del valore in EAX e del contenuto di `_b`.

Infine, `ADD` aggiunge il valore in `_c` a EAX.

Il valore EAX non necessita di essere spostato: si trova già nel posto giusto. Al termine, la funzione chiamante ([chiamante](#)) prende il valore di EAX e lo usa come argomento di `printf()`.

MSVC + OllyDbg

Illustriamo il funzionamento con OllyDbg. Quando raggiungiamo la prima istruzione in `f()` che usa uno degli argomenti (il primo) notiamo che EBP punta allo [stack frame](#), indentificato dal riquadro rosso.

Il primo elemento dello [stack frame](#) è il valore salvato di EBP, il secondo è il [RA](#), il terzo rappresenta il primo argomento della funzione, seguito dal secondo e terzo argomento.

Per accedere al primo argomento della funzione bisogna aggiungere esattamente 8 (2 wor a 32-bit) a EBP.

OllyDbg è in grado di distinguere gli argomenti in questo modo, ed ha aggiunto dei commenti agli elementi dello stack, ad esempio:

«RETURN from» and «Arg1 = ...», etc.

N.B.: Gli argomenti della funzione non sono membri dello stack frame della funzione chiamata, appartengono allo stack frame della funzione chiamante ([chiamante](#)).

Pertanto OllyDbg ha contrassegnato gli elementi «Arg» come membri di un altro stack frame.

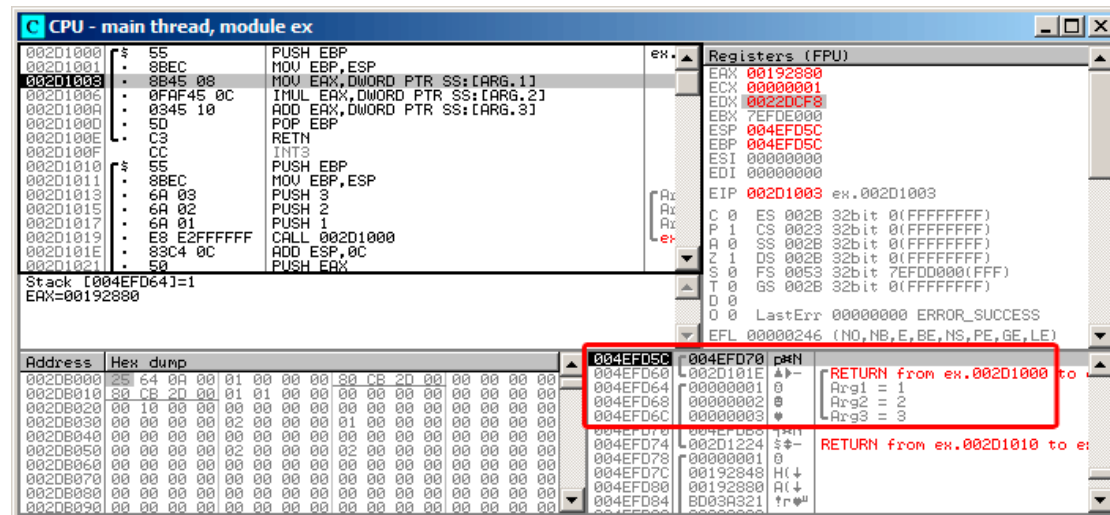


Figura 1.23: OllyDbg: dentro la funzione f()

GCC

Compiliamo lo stesso esempio con GCC 4.4.1 ed osserviamo il risultato con [IDA](#):

Listing 1.92: GCC 4.4.1

```

public f
f
proc near

arg_0    = dword ptr 8
arg_4    = dword ptr 0Ch
arg_8    = dword ptr 10h

        push    ebp
        mov     ebp, esp
        mov     eax, [ebp+arg_0] ; 1° argomento
        imul    eax, [ebp+arg_4] ; 2° argomento
        add     eax, [ebp+arg_8] ; 3° argomento
        pop     ebp
        retn

f
endp

public main
main
proc near

var_10   = dword ptr -10h

```

```

var_C    = dword ptr -0Ch
var_8     = dword ptr -8

        push    ebp
        mov     ebp, esp
        and     esp, 0FFFFFF0h
        sub     esp, 10h
        mov     [esp+10h+var_8], 3 ; 3° argomento
        mov     [esp+10h+var_C], 2 ; 2° argomento
        mov     [esp+10h+var_10], 1 ; 1° argomento
        call    f
        mov     edx, offset aD ; "%d\n"
        mov     [esp+10h+var_C], eax
        mov     [esp+10h+var_10], edx
        call    _printf
        mov     eax, 0
        leave
        retn
main     endp

```

Il risultato è pressoché identico, a meno di piccole differenze già discusse in precedenza.

Lo [stack pointer](#) non viene ripristinato dopo le due chiamate a funzione (f and printf), poichè se ne occupa la penultima istruzione LEAVE (?? on page ??) alla fine della funzione.

1.14.2 x64

La situazione è leggermente diversa in x86-64. Gli argomenti della funzione (i primi 4 o 6) sono passati tramite i registri. La funzione chiamata ([chiamata](#)) legge quindi i parametri dai registri anzichè dallo stack.

MSVC

Con ottimizzazione MSVC:

Listing 1.93: Con ottimizzazione MSVC 2012 x64

```

$SG2997 DB    '%d', 0aH, 00H

main PROC
    sub     rsp, 40
    mov     edx, 2
    lea     r8d, QWORD PTR [rdx+1] ; R8D=3
    lea     ecx, QWORD PTR [rdx-1] ; ECX=1
    call    f
    lea     rcx, OFFSET FLAT:$SG2997 ; '%d'
    mov     edx, eax
    call    printf
    xor     eax, eax
    add     rsp, 40
    ret     0

```



```

main    ENDP

f        PROC
        ; ECX - 1° argomento
        ; EDX - 2° argomento
        ; R8D - 3° argomento
        imul    ecx, edx
        lea     eax, DWORD PTR [r8+rcx]
        ret     0
f        ENDP

```

Come possiamo vedere, la piccola funzione `f()` prende tutti i suoi argomenti dai registri.

L'istruzione `LEA` qui è usata per l'addizione. Apparentemente il compilatore l'ha ritenuta più veloce di `ADD`.

`LEA` è anche usata nella funzione `main()` per preparare il primo e il terzo argomento di `f()`. Il compilatore deve aver deciso che questo approccio è più veloce del modo tradizionale di caricare valori nei registri usando l'istruzione `MOV`.

Diamo un'occhiata all'output di MSVC senza ottimizzazioni:

Listing 1.94: MSVC 2012 x64

```

f                proc near
; shadow space:
arg_0            = dword ptr  8
arg_8            = dword ptr 10h
arg_10           = dword ptr 18h

                ; ECX - 1° argomento
                ; EDX - 2° argomento
                ; R8D - 3° argomento
                mov     [rsp+arg_10], r8d
                mov     [rsp+arg_8], edx
                mov     [rsp+arg_0], ecx
                mov     eax, [rsp+arg_0]
                imul    eax, [rsp+arg_8]
                add     eax, [rsp+arg_10]
                retn
f                endp

main            proc near
                sub     rsp, 28h
                mov     r8d, 3 ; 3° argomento
                mov     edx, 2 ; 2° argomento
                mov     ecx, 1 ; 1° argomento
                call    f
                mov     edx, eax
                lea     rcx, $SG2931 ; "%d\n"
                call    printf

                ; ritorna 0

```

```

                                xor    eax, eax
                                add    rsp, 28h
                                retn
main                            endp

```

L'output può lasciarci un po' perplessi in quanto tutti i 3 argomenti nei registri sono anche salvati nello stack per qualche motivo. Ciò è chiamato «shadow space»⁸³: ogni Win64 potrebbe (ma non deve necessariamente farlo) salvare tutti i 4 valori dei registri in questo spazio. E questo avviene per due ragioni: 1) è eccessivo allocare un intero registro (o addirittura 4) per un argomento in input, pertanto sarà acceduto tramite lo stack. 2) il debugger sa sempre dove trovare gli argomenti della funzione ad un break⁸⁴.

Quindi, alcune funzioni piuttosto estese potrebbero salvare i loro argomenti nello «shadow space» nel caso in cui abbiano necessità di utilizzarli durante l'esecuzione della funzione. Altre funzioni più piccole (come la nostra) potrebbero non farlo.

Allocare spazio nello «shadow space» è responsabilità del chiamante ([chiamante](#)).

GCC

Con ottimizzazione GCC genera codice più o meno comprensibile:

Listing 1.95: Con ottimizzazione GCC 4.4.6 x64

```

f:
    ; EDI - 1° argomento
    ; ESI - 2° argomento
    ; EDX - 3° argomento
    imul    esi, edi
    lea     eax, [rdx+rsi]
    ret

main:
    sub     rsp, 8
    mov     edx, 3
    mov     esi, 2
    mov     edi, 1
    call    f
    mov     edi, OFFSET FLAT:.LC0 ; "%d\n"
    mov     esi, eax
    xor     eax, eax ; numero dei registri vettore passati
    call    printf
    xor     eax, eax
    add     rsp, 8
    ret

```

Senza ottimizzazione GCC:

Listing 1.96: GCC 4.4.6 x64

⁸³[MSDN](#)

⁸⁴[MSDN](#)

```

f:
    ; EDI - 1° argomento
    ; ESI - 2° argomento
    ; EDX - 3° argomento
    push    rbp
    mov     rbp, rsp
    mov     DWORD PTR [rbp-4], edi
    mov     DWORD PTR [rbp-8], esi
    mov     DWORD PTR [rbp-12], edx
    mov     eax, DWORD PTR [rbp-4]
    imul    eax, DWORD PTR [rbp-8]
    add     eax, DWORD PTR [rbp-12]
    leave
    ret

main:
    push    rbp
    mov     rbp, rsp
    mov     edx, 3
    mov     esi, 2
    mov     edi, 1
    call    f
    mov     edx, eax
    mov     eax, OFFSET FLAT:.LC0 ; "%d\n"
    mov     esi, edx
    mov     rdi, rax
    mov     eax, 0 ; numero dei registri vettore passati
    call    printf
    mov     eax, 0
    leave
    ret

```

In System V *NIX ([Michael Matz, Jan Hubicka, Andreas Jaeger, Mark Mitchell, *System V Application Binary Interface. AMD64 Architecture Processor Supplement*, (2013)]⁸⁵) non è richiesto lo «shadow space», ma la funizione chiamata (*chiamata*) potrebbe aver bisogno di salvare i suoi argomenti da qualche parte in caso di scarsità di registri a disposizione.

GCC: uint64_t al posto di int

Il nostro esempio utilizza *int* a 32-bit, motivo per cui viene usata la parte a 32-bit del registro (con prefisso E-).

Può essere leggermente modificato per utilizzare valori a 64-bit:

```

#include <stdio.h>
#include <stdint.h>

uint64_t f (uint64_t a, uint64_t b, uint64_t c)
{
    return a*b*c;
}

```

⁸⁵<https://software.intel.com/sites/default/files/article/402129/mpx-linux64-abi.pdf>

```
};

int main()
{
    printf ("%lld\n", f(0x1122334455667788,
                        0x1111111122222222,
                        0x3333333344444444));
    return 0;
};
```

Listing 1.97: Con ottimizzazione GCC 4.4.6 x64

```
f      proc near
      imul     rsi, rdi
      lea      rax, [rdx+rsi]
      retn
f      endp

main   proc near
      sub      rsp, 8
      mov      rdx, 3333333344444444h ; 3° argomento
      mov      rsi, 1111111122222222h ; 2° argomento
      mov      rdi, 1122334455667788h ; 1° argomento
      call     f
      mov      edi, offset format ; "%lld\n"
      mov      rsi, rax
      xor      eax, eax ; numero dei registri vettore passati
      call     _printf
      xor      eax, eax
      add      rsp, 8
      retn
main   endp
```

Il codice è lo stesso, ma in questo caso vengono usati i registri *completi* (con prefisso R-).

1.14.3 ARM

Senza ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

```
.text:000000A4 00 30 A0 E1      MOV     R3, R0
.text:000000A8 93 21 20 E0      MLA     R0, R3, R1, R2
.text:000000AC 1E FF 2F E1      BX      LR
...
.text:000000B0                      main
.text:000000B0 10 40 2D E9      STMFD   SP!, {R4,LR}
.text:000000B4 03 20 A0 E3      MOV     R2, #3
.text:000000B8 02 10 A0 E3      MOV     R1, #2
.text:000000BC 01 00 A0 E3      MOV     R0, #1
.text:000000C0 F7 FF FF EB      BL      f
.text:000000C4 00 40 A0 E1      MOV     R4, R0
.text:000000C8 04 10 A0 E1      MOV     R1, R4
```

.text:000000CC 5A 0F 8F E2	ADR	R0, aD_0	; "%d\n"
.text:000000D0 E3 18 00 EB	BL	__2printf	
.text:000000D4 00 00 A0 E3	MOV	R0, #0	
.text:000000D8 10 80 BD E8	LDMFD	SP!, {R4,PC}	

La funzione `main()` chiama altre due funzioni, con tre valori passati alla prima — (`f()`).

Come detto in precedenza, in ARM i primi 4 valori sono solitamente passati nei primi 4 registri (R0-R3).

La funzione `f()`, come si può osservare, usa i primi 3 registri (R0-R2) come argomenti.

L'istruzione `MLA` (*Multiply Accumulate*) moltiplica i suoi primi due operandi (R3 e R1), aggiunge al prodotto il terzo operando (R2) e salva il risultato nel zeresimo registro (R0), attraverso il quale, da standard, le funzioni restituiscono i valori.

La moltiplicazione e addizione fatte in una volta sola (*Fused multiply-add*) è un'operazione molto utile. Non vi era alcuna funzione analoga in x86 prima dell'avvento delle istruzioni FMA in SIMD. ⁸⁶.

La prima istruzione `MOV R3, R0`, è apparentemente ridondante (al suo posto sarebbe potuta essere usata una singola istruzione `MLA`). Il compilatore, come previsto, non ha quindi ottimizzato il codice.

L'istruzione `BX` restituisce il controllo all'indirizzo memorizzato nel registro `LR` e, se necessario, effettua lo switch della modalità del processore da Thumb a ARM o viceversa. Ciò può essere necessario in quanto, come possiamo vedere, la funzione `f()` non è al corrente di che tipo di codice potrebbe essere chiamato in seguito (ARM o Thumb). Dunque, se viene chiamata da codice Thumb `BX` non restituisce soltanto il controllo alla funzione chiamante ma cambia anche la modalità del processore a Thumb. Se la funzione viene chiamata da codice ARM, non effettua lo scambio di modalità [ARM(R) *Architecture Reference Manual, ARMv7-A and ARMv7-R edition*, (2012)A2.3.2].

Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

.text:00000098	f		
.text:00000098 91 20 20 E0	MLA	R0, R1, R0, R2	
.text:0000009C 1E FF 2F E1	BX	LR	

Ecco la funzione `f()` compilata dal compilatore Keil con ottimizzazione completa (-O3).

L'istruzione `MOV` è stata ottimizzata (o ridotta), ora `MLA` usa tutti i registri di input e mette il risultato in R0, esattamente da dove la funzione chiamante leggerà il risultato.

Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)

⁸⁶ [wikipedia](#)

.text:0000005E	48 43	MULS	R0, R1
.text:00000060	80 18	ADDS	R0, R0, R2
.text:00000062	70 47	BX	LR

L'istruzione MLA non è disponibile in modalità Thumb, pertanto il compilatore genera il codice effettuando le due operazioni (moltiplicazione e addizione) separatamente.

Per prima cosa l'istruzione MULS moltiplica R0 per R1, mettendo il risultato in R0. Successivamente la seconda istruzione (ADDS) somma al risultato precedente R2, e mette il risultato nel registro R0.

ARM64

Con ottimizzazione GCC (Linaro) 4.9

Appare tutto molto semplice. MADD è semplicemente un'istruzione che fa una moltiplicazione/addizione combinata (simile alla MLA vista in precedenza). Tutti i 3 argomenti sono passati tramite le parti a 32-bit dei registri X-. Infatti gli argomenti sono tutti di tipo *int* a 32-bit. Il risultato è restituito in W0.

Listing 1.98: Con ottimizzazione GCC (Linaro) 4.9

```
f:
    madd    w0, w0, w1, w2
    ret

main:
; salva il FP e il LR nello stack frame:
    stp     x29, x30, [sp, -16]!
    mov     w2, 3
    mov     w1, 2
    add     x29, sp, 0
    mov     w0, 1
    bl      f
    mov     w1, w0
    adrp    x0, .LC7
    add     x0, x0, :lo12:.LC7
    bl      printf
; ritorna 0
    mov     w0, 0
; ripristina FP and LR
    ldp     x29, x30, [sp], 16
    ret

.LC7:
    .string "%d\n"
```

Estendiamo anche questo esempio usando il tipo `uint64_t` a 64-bit e vediamo che succede:

```
#include <stdio.h>
#include <stdint.h>

uint64_t f (uint64_t a, uint64_t b, uint64_t c)
{
    return a*b+c;
};

int main()
{
    printf ("%lld\n", f(0x1122334455667788,
                        0x1111111122222222,
                        0x3333333344444444));
    return 0;
};
```

```
f:
    madd    x0, x0, x1, x2
    ret
main:
    mov     x1, 13396
    adrp    x0, .LC8
    stp     x29, x30, [sp, -16]!
    movk    x1, 0x27d0, lsl 16
    add     x0, x0, :lo12:.LC8
    movk    x1, 0x122, lsl 32
    add     x29, sp, 0
    movk    x1, 0x58be, lsl 48
    bl      printf
    mov     w0, 0
    ldp     x29, x30, [sp], 16
    ret

.LC8:
    .string "%lld\n"
```

La funzione `f()` è rimasta invariata, ma adesso i registri a 64-bit X- sono utilizzati nella loro interezza. I valori grandi a 64-bit sono caricati nei registri per parti, come descritto anche qui: ?? on page ??.

Senza ottimizzazione GCC (Linaro) 4.9

L'output del compilatore non ottimizzante è più ridondante:

```
f:
    sub     sp, sp, #16
    str     w0, [sp,12]
    str     w1, [sp,8]
    str     w2, [sp,4]
    ldr     w1, [sp,12]
    ldr     w0, [sp,8]
```

```

mul    w1, w1, w0
ldr    w0, [sp,4]
add    w0, w1, w0
add    sp, sp, 16
ret

```

Il codice salva gli argomenti in input nello stack locale, nel caso in cui qualcuno (o qualcosa) in questa funzione abbia necessità di usare i registri W0...W2. Questo previene l'eventualità che gli argomenti originali siano sovrascritti, nel caso in cui servano nuovamente nel corso della funzione.

Ciò è detto *Register Save Area*. [Procedure Call Standard for the ARM 64-bit Architecture (AArch64), (2013)]⁸⁷. ed è vagamente simile allo «Shadow Space»: [1.14.2 on page 133](#). La funzione chiamata non è comunque obbligata a salvarli.

Perché GCC 4.9 ottimizzante ha eliminato questa porzione di codice che salva gli argomenti? Lo ha fatto perché, a seguito di un'ulteriore ottimizzazione, ha concluso che gli argomenti di questa funzione non sono riutilizzati in futuro e che i registri W0...W2 non saranno utilizzati.

Notiamo anche una coppia di istruzioni MUL/ADD al posto della singola MADD.

1.14.4 MIPS

Listing 1.99: Con ottimizzazione GCC 4.4.5

```

.text:00000000 f:
; $a0=a
; $a1=b
; $a2=c
.text:00000000      mult    $a1, $a0
.text:00000004      mflo    $v0
.text:00000008      jr      $ra
.text:0000000C      addu    $v0, $a2, $v0      ; branch delay slot
; il risultato è in $v0 al ritorno
.text:00000010 main:
.text:00000010
.text:00000010 var_10 = -0x10
.text:00000010 var_4  = -4
.text:00000010
.text:00000010      lui     $gp, (__gnu_local_gp >> 16)
.text:00000014      addiu   $sp, -0x20
.text:00000018      la      $gp, (__gnu_local_gp & 0xFFFF)
.text:0000001C      sw      $ra, 0x20+var_4($sp)
.text:00000020      sw      $gp, 0x20+var_10($sp)
; imposta c:
.text:00000024      li      $a2, 3
; imposta a:
.text:00000028      li      $a0, 1
.text:0000002C      jal     f
; imposta b:

```

⁸⁷ Italian text placeholder http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.ih0055b/IHI0055B_aapcs64.pdf


```

.text:00000030      li      $a1, 2          ; branch delay slot
; ora il risultato è in $v0
.text:00000034      lw      $gp, 0x20+var_10($sp)
.text:00000038      lui     $a0, ($LC0 >> 16)
.text:0000003C      lw      $t9, (printf & 0xFFFF)($gp)
.text:00000040      la      $a0, ($LC0 & 0xFFFF)
.text:00000044      jalr    $t9
; prendi il risultato della funzione f() e passalo
; come secondo argomento alla printf():
.text:00000048      move    $a1, $v0          ; branch delay slot
.text:0000004C      lw      $ra, 0x20+var_4($sp)
.text:00000050      move    $v0, $zero
.text:00000054      jr      $ra
.text:00000058      addiu   $sp, 0x20 ; branch delay slot

```

I primi quattro argomenti della funzione sono passati in quattro registri con prefisso A-.

Ci sono due registri speciali in MIPS: HI e LO che durante l'esecuzione dell'istruzione MULT, vengono riempiti con il risultato su 64-bit della moltiplicazione.

Questi registri sono accessibili solamente usando le istruzioni MFLO e MFHI. In questo caso MFLO prende la parte bassa del risultato della moltiplicazione e la salva in \$V0. Di conseguenza i 32 bit della parte alta del risultato della moltiplicazione sono scartati (il contenuto del registro HI non viene usato). Infatti: noi qui lavoriamo con tipi di dati *int* a 32 bit.

Infine, ADDU («Add Unsigned») sommano il valore del terzo argomento al risultato.

Ci sono due tipi di istruzione addizione in MIPS: ADD and ADDU. La differenza non è legata al segno, ma alle eccezioni. ADD può sollevare un'eccezione in caso di overflow, che di solito è utile⁸⁸ e supportato in Ada PL, per esempio. ADDU non solleva eccezioni in caso di overflow.

Siccome C/C++ non lo supporta, nei nostri esempi vediamo ADDU anziché ADD.

Il risultato a 32 bit viene lasciato in \$V0.

C'è una nuova istruzione per noi nel main(): JAL («Jump and Link»).

La differenza tra JAL e JALR è che l'offset relativo viene codificato nella prima istruzione, mentre JALR salta all'indirizzo assoluto salvato in un registro («Jump and Link Register»).

Entrambe le funzioni f() e main() si trovano nello stesso file oggetto, quindi l'indirizzo relativo di f() è conosciuto e fissato.

⁸⁸<http://blog.regehr.org/archives/1154>

1.15 Ulteriori considerazioni sulla restituzione dei risultati

In x86, il risultato dell'esecuzione di una funzione è generalmente restituito ⁸⁹ nel registro EAX. Se il tipo del risultato è un *byte* o un *char*, viene utilizzata la parte bassa del registro EAX (AL). Se una funzione restituisce un numero di tipo *float*, viene invece utilizzato il registro FPU ST(0). In ARM, il risultato è solitamente restituito nel registro R0.

1.15.1 Tentativo di utilizzare il risultato di una funzione che restituisce *void*

Che succederebbe se la funzione `main` dichiarasse il valore di ritorno di tipo *void* invece di *int*? Il cosiddetto startup-code chiama `main()` più o meno così:

```
push envp
push argv
push argc
call main
push eax
call exit
```

In altre parole:

```
exit(main(argc,argv,envp));
```

Se dichiariamo `main()` come *void*, non viene esplicitamente restituito nulla (usando lo statement *return*), e quindi qualche valore casuale, che si trova memorizzato nel registro EAX alla fine di `main()`, diventa argomento della funzione `exit()`. Molto probabilmente si tratterà di un valore casuale, residuo dell'esecuzione della nostra funzione, quindi l'*exit code* del programma è pseudo-casuale.

Illustriamo meglio questo fatto. La funzione `main()` ha ora un valore di ritorno di tipo *void*:

```
#include <stdio.h>

void main()
{
    printf ("Hello, world!\n");
};
```

Compiliamo il programma su Linux.

GCC 4.8.1 ha sostituito `printf()` con `puts()` (abbiamo già visto questo caso: [1.5.3 on page 28](#)), e va del tutto bene, poichè `puts()` restituisce il numero di caratteri stampati proprio come `printf()`. Notiamo che EAX non viene azzerato prima della fine di `main()`.

⁸⁹Vedi anche: MSDN: Return Values (C++): [MSDN](#)

Ciò implica che il valore di EAX alla fine di `main()` conterrà il valore lasciato lì da `puts()`.

Listing 1.100: GCC 4.8.1

```
.LC0:
.string "Hello, world!"
main:
    push    ebp
    mov     ebp, esp
    and     esp, -16
    sub     esp, 16
    mov     DWORD PTR [esp], OFFSET FLAT:.LC0
    call    puts
    leave
    ret
```

Scriviamo uno script bash che mostra l'exit status:

Listing 1.101: tst.sh

```
#!/bin/sh
./hello_world
echo $?
```

Eseguiamolo:

```
$ tst.sh
Hello, world!
14
```

14 è il numero di caratteri stampati. Il numero dei caratteri stampati *scivola* da `printf()` attraverso EAX/RAX nell' «exit code».

Un altro esempio nel libro: ?? on page ??.

Comunque, quando decompiliamo C++ in Hex-Rays, spesso possiamo trovare una funzione che termina con il distruttore di qualche classe:

```
...
call    ??1CString@@QAE@XZ ; CString:: CString(void)
mov     ecx, [esp+30h+var_C]
pop     edi
pop     ebx
mov     large fs:0, ecx
add     esp, 28h
retn
```

Dallo standard C++, i distruttori non ritornano nulla, ma quando Hex-Rays non lo capisce e pensa che sia il distruttore che la funzione ritornino *int*, possiamo avere un output simile a questo:

```
...
```

```

    return CString::~CString(&Str);
}

```

1.15.2 Che succede se il risultato della funzione non viene usato?

`printf()` restituisce il numero di caratteri mandati in output con successo, ma il risultato di questa funzione è usato molto raramente.

E' possibile anche chiamare una funzione la cui essenza risiede nel restituire un valore e non usarlo del tutto:

```

int f()
{
    // salta i primi 3 valori casuali:
    rand();
    rand();
    rand();
    // e usa il 4°:
    return rand();
};

```

Il risultato della funzione `rand()` è lasciato in EAX in tutti e quattro i casi. Nei primi 3 però il valore in EAX non viene usato.

1.15.3 Restituire una struttura

Torniamo al fatto che il valore di ritorno è lasciato nel registro EAX. Questo è il motivo per cui i vecchi compilatori C non possono creare funzioni in grado di restituire qualcosa che non entri perfettamente in un registro (solitamente un *int*). Se lo si vuole fare, è necessario restituire l'informazione attraverso puntatori passati come argomenti alla funzione.

Quindi, generalmente, se una funzione deve restituire più valori, ne restituisce (realmente) soltanto uno, ed il resto—tramite puntatori.

Oggi è possibile restituire anche un'intera struttura, ma non è ancora una pratica molto diffusa. Se una funzione deve restituire una struttura grande, il chiamante ([chiamante](#)) deve allocarla e passare come primo argomento della funzione un puntatore alla struttura, il tutto in modo trasparente per il programmatore. E' pressochè la stessa cosa di passare un puntatore manualmente come primo argomento, ma il compilatore "nasconde" questo passaggio.

Un piccolo esempio:

```

struct s
{
    int a;
    int b;
    int c;
};

```

```

struct s get_some_values (int a)
{
    struct s rt;

    rt.a=a+1;
    rt.b=a+2;
    rt.c=a+3;

    return rt;
};

```

...otteniamo (MSVC 2010 /0x):

```

$T3853 = 8 ; size = 4
_a$ = 12 ; size = 4
?get_some_values@@YA?AUs@@H@Z PROC ; get_some_values
    mov     ecx, DWORD PTR _a$[esp-4]
    mov     eax, DWORD PTR $T3853[esp-4]
    lea     edx, DWORD PTR [ecx+1]
    mov     DWORD PTR [eax], edx
    lea     edx, DWORD PTR [ecx+2]
    add     ecx, 3
    mov     DWORD PTR [eax+4], edx
    mov     DWORD PTR [eax+8], ecx
    ret     0
?get_some_values@@YA?AUs@@H@Z ENDP ; get_some_values

```

Il nome della macro per il passaggio interno del puntatore alla struttura è in questo caso \$T3853.

Questo stesso esempio può essere riscritto utilizzando l'estensione del linguaggio C99:

```

struct s
{
    int a;
    int b;
    int c;
};

struct s get_some_values (int a)
{
    return (struct s){.a=a+1, .b=a+2, .c=a+3};
};

```

Listing 1.102: GCC 4.8.1

```

_get_some_values proc near
ptr_to_struct    = dword ptr 4
a                = dword ptr 8

                mov     edx, [esp+a]
                mov     eax, [esp+ptr_to_struct]

```

```

        lea    ecx, [edx+1]
        mov    [eax], ecx
        lea    ecx, [edx+2]
        add    edx, 3
        mov    [eax+4], ecx
        mov    [eax+8], edx
        retn
_get_some_values endp

```

Come possiamo vedere, la funzione chiamata non fa altro che riempire i campi della struttura allocata dalla funzione chiamante, come se un puntatore alla struttura fosse stato passato. Pertanto non ci sono neanche impatti negativi sulla performance.

1.16 Puntatori

1.16.1 Ritornare valori

I puntatori sono spesso usati per restituire valori dalle funzioni (come nel caso di `scanf()` ([1.12 on page 89](#))). Ad esempio, quando una funzione deve restituire due valori.

Esempio variabili globali

```

#include <stdio.h>

void f1 (int x, int y, int *sum, int *product)
{
    *sum=x+y;
    *product=x*y;
};

int sum, product;

void main()
{
    f1(123, 456, &sum, &product);
    printf ("sum=%d, product=%d\n", sum, product);
};

```

Viene compilato in:

Listing 1.103: Con ottimizzazione MSVC 2010 (/Ob0)

```

COMM    _product:DWORD
COMM    _sum:DWORD
$SG2803 DB      'sum=%d, product=%d', 0aH, 00H

_x$ = 8          ; size = 4
_y$ = 12         ; size = 4
_sum$ = 16       ; size = 4

```

```

_product$ = 20          ; size = 4
_f1 PROC
    mov     ecx, DWORD PTR _y$[esp-4]
    mov     eax, DWORD PTR _x$[esp-4]
    lea     edx, DWORD PTR [eax+ecx]
    imul    eax, ecx
    mov     ecx, DWORD PTR _product$[esp-4]
    push    esi
    mov     esi, DWORD PTR _sum$[esp]
    mov     DWORD PTR [esi], edx
    mov     DWORD PTR [ecx], eax
    pop     esi
    ret     0
_f1 ENDP

_main PROC
    push    OFFSET _product
    push    OFFSET _sum
    push    456      ; 000001c8H
    push    123      ; 0000007bH
    call    _f1
    mov     eax, DWORD PTR _product
    mov     ecx, DWORD PTR _sum
    push    eax
    push    ecx
    push    OFFSET $SG2803
    call    DWORD PTR __imp__printf
    add     esp, 28
    xor     eax, eax
    ret     0
_main ENDP

```

Esaminiamolo con OllyDbg:

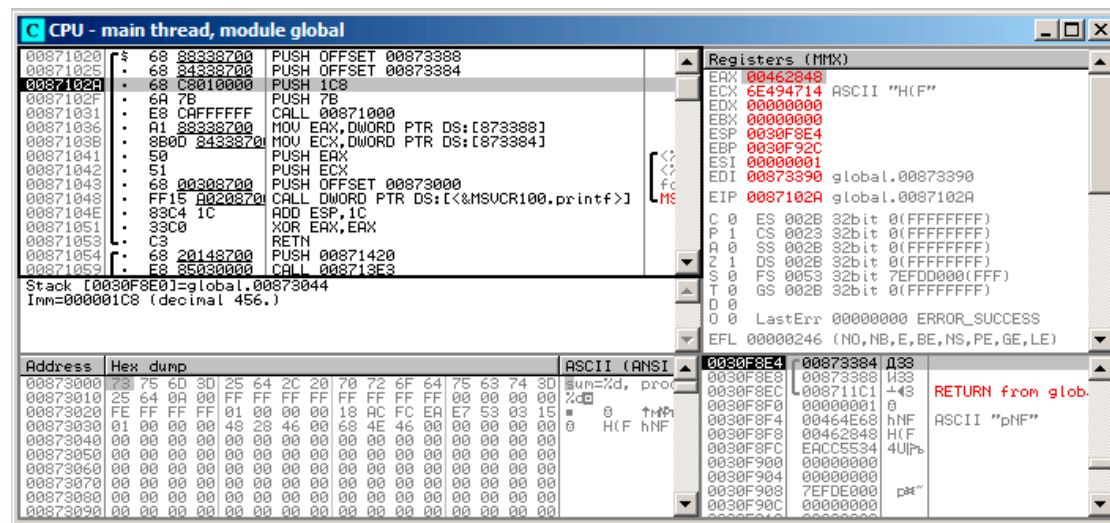


Figura 1.24: OllyDbg: gli indirizzi delle variabili globali sono passate a f1()

Prima di tutto, gli indirizzi delle variabili globali vengono passati a f1(). Possiamo cliccare su «Follow in dump» sull'elemento dello stack e vedere lo spazio nel data segment allocato per le due variabili.

Queste variabili sono azzerate, poichè i dati non inizializzati (dal segmento [BSS](#)) sono azzerati prima dell'inizio dell'esecuzione: [ISO/IEC 9899:TC3 (C C99 standard), (2007)6.7.8p10].

Risiedono nel data segment, e possiamo verificarlo premendo Alt-M ed esaminando la mappa della memoria:

Address	Size	Owner	Section	Contains	Type	Access	Initial	Mapped as
00050000	00004000				Map	R	R	
00060000	00001000				Priv	RW	RW	
00070000	00067000				Map	R	R	
00159000	00007000				Priv	RW	Gua	
0030D000	00001000				Priv	RW	Gua	
0030E000	00002000			Stack of main thread	Priv	RW	RW	
00460000	00005000			Heap	Priv	RW	RW	
004A0000	00007000				Priv	RW	RW	
006B0000	0000C000			Default heap	Priv	RW	RW	
00870000	00001000	global		PE header	Ing	R	RWE	Cop
00871000	00001000	global	.text	Code	Ing	R E	RWE	Cop
00872000	00001000	global	.rdata	Imports	Ing	R	RWE	Cop
00873000	00001000	global	.data	Data	Ing	RW	RWE	Cop
00874000	00001000	global	.reloc	Relocations	Ing	R	RWE	Cop
6E3E0000	00001000	MSUCR100		PE header	Ing	R	RWE	Cop
6E3E1000	00002000	MSUCR100	.text	Code, imports, exports	Ing	R E	RWE	Cop
6E493000	00006000	MSUCR100	.data	Data	Ing	RW	Cop	RWE
6E499000	00001000	MSUCR100	.rsrc	Resources	Ing	R	RWE	Cop
6E49A000	00005000	MSUCR100	.reloc	Relocations	Ing	R	RWE	Cop
755D0000	00001000	Mod_755D		PE header	Ing	R	RWE	Cop
755D1000	00003000				Ing	R E	RWE	Cop
755D4000	00001000				Ing	RW	RWE	Cop
755D5000	00003000				Ing	R	RWE	Cop
755E0000	00001000	Mod_755E		PE header	Ing	R	RWE	Cop
755E1000	00004000				Ing	R E	RWE	Cop
7562E000	00005000				Ing	RW	Cop	RWE
75633000	00009000				Ing	R	RWE	Cop

Figura 1.25: OllyDbg: memory map

Eseguiamo (F7) fino all'inizio di f1():

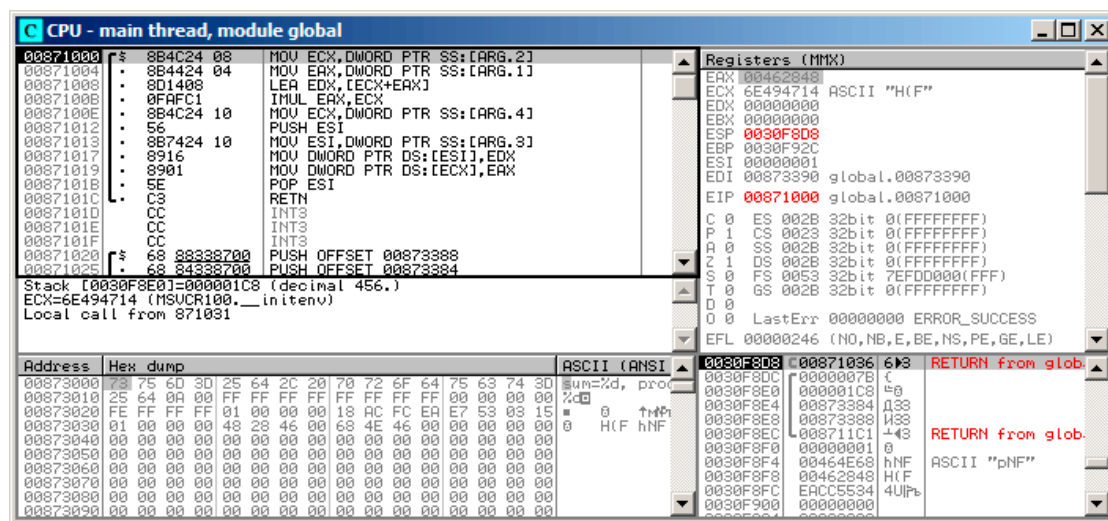


Figura 1.26: OllyDbg: f1() inizio

Nello stack sono visibili due valori, 456 (0x1C8) e 123 (0x7B), oltre agli indirizzi delle due variabili globali.

Eseguiamo fino alla fine di `f1()`. Nella finestra in basso a sinistra vediamo come i risultati dei calcoli appaiono nelle variabili globali:

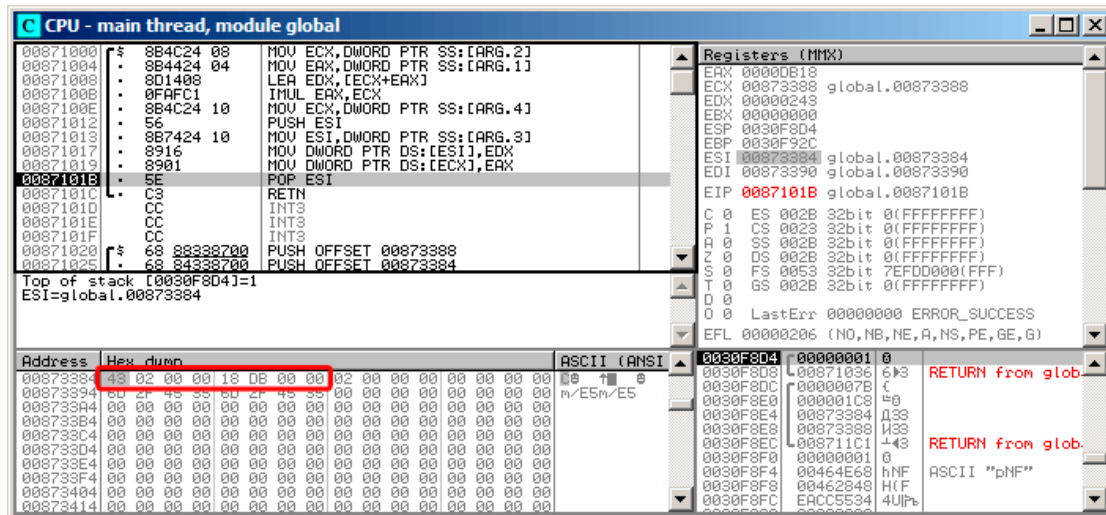


Figura 1.27: OllyDbg: esecuzione di `f1()` completata

Adesso i valori delle variabili globali sono caricati nei registri, pronti per essere passati a `printf()` (tramite lo stack):

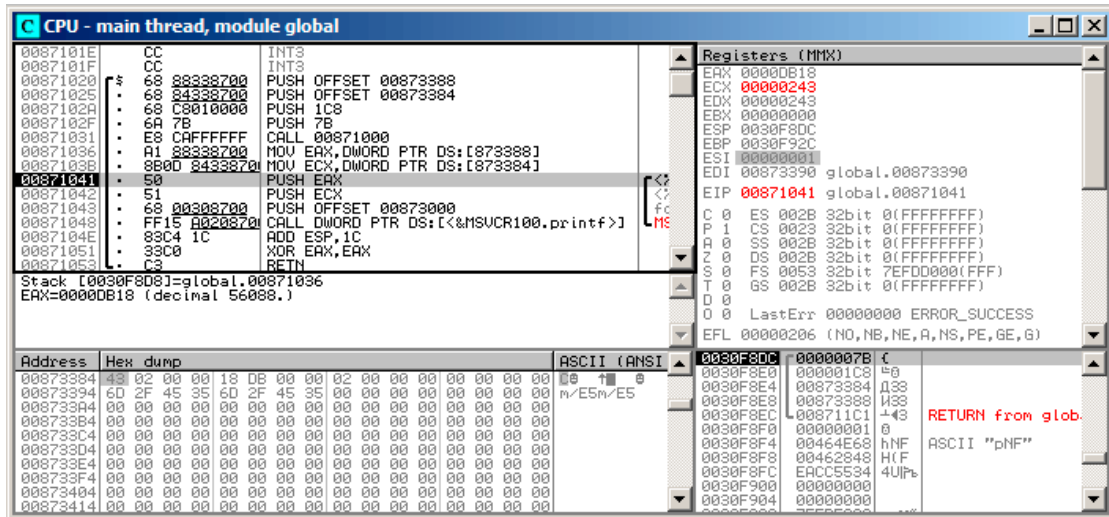


Figura 1.28: OllyDbg: gli indirizzi delle variabili globali sono passati alla `printf()`

Esempio variabili globali

Aggiustiamo leggermente l'esempio:

Listing 1.104: adesso le variabili `sum` e `product` sono locali

```
void main()
{
    int sum, product; // ora le variabili sono locali nella funzione

    f1(123, 456, &sum, &product);
    printf("sum=%d, product=%d\n", sum, product);
};
```

Il codice di `f1()` resterà invariato. Solo il `main()` cambierà in:

Listing 1.105: Con ottimizzazione MSVC 2010 (/Ob0)

```
_product$ = -8 ; size = 4
_sum$ = -4 ; size = 4
_main PROC
; Line 10
    sub    esp, 8
; Line 13
    lea    eax, DWORD PTR _product$[esp+8]
    push   eax
    lea    ecx, DWORD PTR _sum$[esp+12]
    push   ecx
    push   456 ; 000001c8H
```

```
    push    123      ; 0000007bH
    call    _f1
; Line 14
    mov     edx, DWORD PTR _product$[esp+24]
    mov     eax, DWORD PTR _sum$[esp+24]
    push    edx
    push    eax
    push    OFFSET $SG2803
    call    DWORD PTR __imp__printf
; Line 15
    xor     eax, eax
    add     esp, 36
    ret     0
```

Esaminiamo nuovamente con OllyDbg. Gli indirizzi delle variabili locali nello stack sono 0x2EF854 e 0x2EF858. Vediamo come questi vengono messi nello stack:

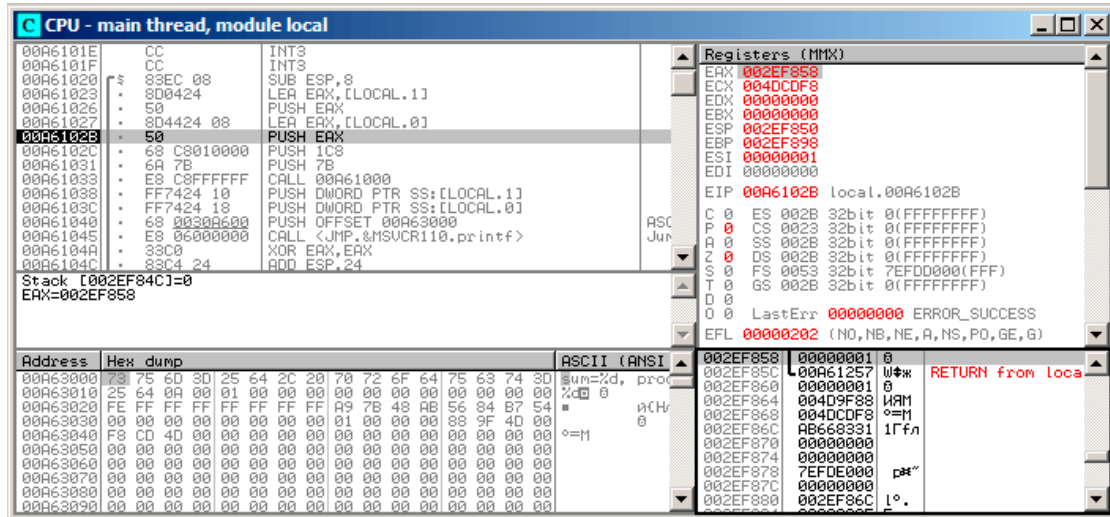


Figura 1.29: OllyDbg: gli indirizzi delle variabili locali sono inserite nello stack

Inizia `f1()`. A questo punto nello stack c'è solo spazzatura casuale a `0x2EF854` e `0x2EF858`:

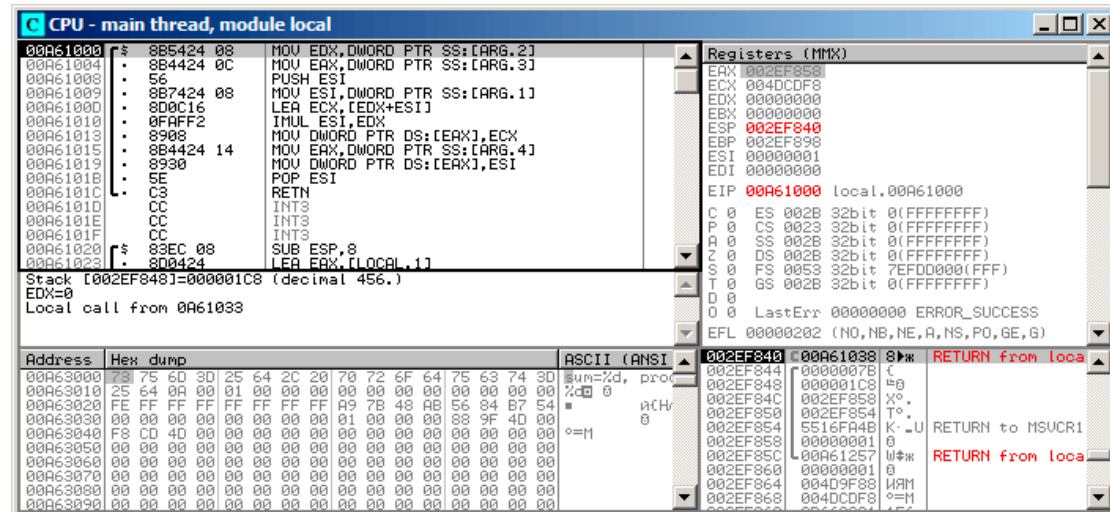


Figura 1.30: OllyDbg: inizia `f1()`

f1() finisce:

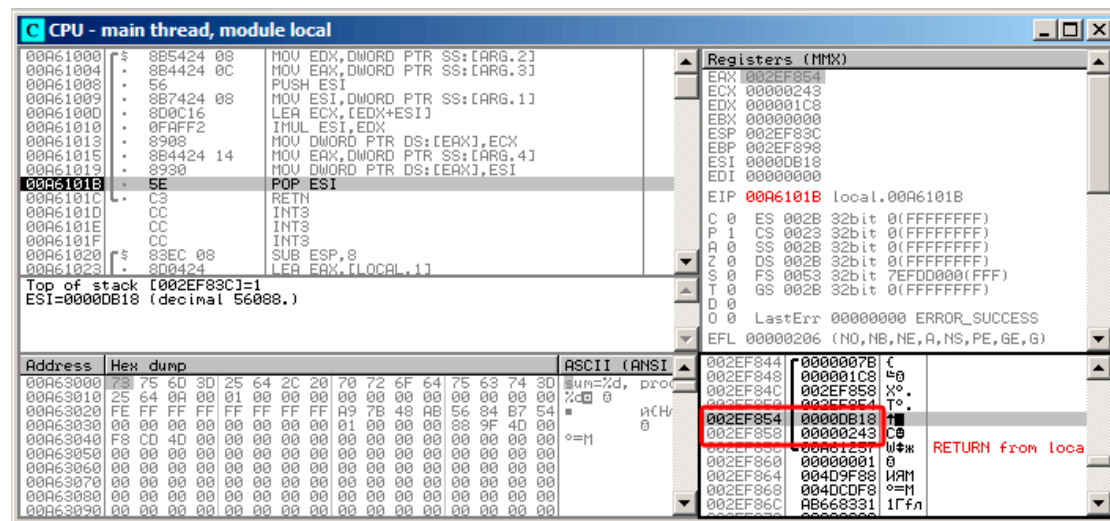


Figura 1.31: OllyDbg: esecuzione completata di f1()

Adesso agli indirizzi 0x2EF854 e 0x2EF858 vediamo 0xDB18 e 0x243. Questi valori sono il risultato di f1().

Conclusione

f1() può restituire puntatori ad un qualunque posto in memoria, a prescindere da dove si trovi. In definitiva è questa l'utilità dei puntatori.

A proposito, le *referenze* di C++ funzionano esattamente allo stesso modo. Maggiori dettagli qui: (?? on page ??).

1.16.2 Valori di input in Swap

Questo è il codice:

```
#include <memory.h>
#include <stdio.h>

void swap_bytes (unsigned char* first, unsigned char* second)
{
    unsigned char tmp1;
    unsigned char tmp2;

    tmp1=*first;
    tmp2=*second;

    *first=tmp2;
    *second=tmp1;
}
```



```
};

int main()
{
    // copia la stringa nell' heap, così saremo in grado di modificarla
    char *s=strdup("string");

    // scambia il 2° e il 3° carattere
    swap_bytes (s+1, s+2);

    printf ("%s\n", s);
};
```

Come possiamo vedere, i byte sono caricati nelle parti basse a 8 bit di ECX e EBX usando MOVZX (quindi le parti alte di questi registri saranno pulite) e poi i byte saranno riscritti scambiati.

Listing 1.106: Optimizing GCC 5.4

```
swap_bytes:
    push    ebx
    mov     edx, DWORD PTR [esp+8]
    mov     eax, DWORD PTR [esp+12]
    movzx   ecx, BYTE PTR [edx]
    movzx   ebx, BYTE PTR [eax]
    mov     BYTE PTR [edx], bl
    mov     BYTE PTR [eax], cl
    pop     ebx
    ret
```

Gli indirizzi di entrambi i byte sono presi dagli argomenti e attraverso l' esecuzione della funzione sono allocati in EDX and EAX.

Abbiamo usato i puntatori: probabilmente, senza di essi non esiste metodo migliore per questo compito.

1.17 L'operatore GOTO

L'operatore GOTO è generalmente considerato un "anti-pattern", cfr. [Edgar Dijkstra, *Go To Statement Considered Harmful* (1968)⁹⁰]. Ciononostante può essere usato ragionevolmente, [Donald E. Knuth, *Structured Programming with go to Statements* (1974)⁹¹ ⁹²].

Ecco un esempio molto semplice:

```
#include <stdio.h>

int main()
{
```

⁹⁰<http://yurichev.com/mirrors/Dijkstra68.pdf>

⁹¹<http://yurichev.com/mirrors/KnuthStructuredProgrammingGoTo.pdf>

⁹²[Dennis Yurichev, *C/C++ programming language notes*] ha anche alcuni esempi

```

    printf ("begin\n");
    goto exit;
    printf ("skip me!\n");
exit:
    printf ("end\n");
};

```

...e quello che otteniamo con MSVC 2012:

Listing 1.107: MSVC 2012

```

$SG2934 DB      'begin', 0aH, 00H
$SG2936 DB      'skip me!', 0aH, 00H
$SG2937 DB      'end', 0aH, 00H

_main  PROC
    push    ebp
    mov     ebp, esp
    push    OFFSET $SG2934 ; 'begin'
    call    _printf
    add     esp, 4
    jmp     SHORT $exit$3
    push    OFFSET $SG2936 ; 'skip me!'
    call    _printf
    add     esp, 4
$exit$3:
    push    OFFSET $SG2937 ; 'end'
    call    _printf
    add     esp, 4
    xor     eax, eax
    pop     ebp
    ret     0
_main  ENDP

```

Lo statement *goto* è stato semplicemente sostituito con un'istruzione **JMP**, che ha lo stesso effetto: un salto non condizionale ad un altro punto del codice. La seconda `printf()` può essere eseguita soltanto con l'intervento umano, utilizzando un debugger o patchando manualmente il codice.

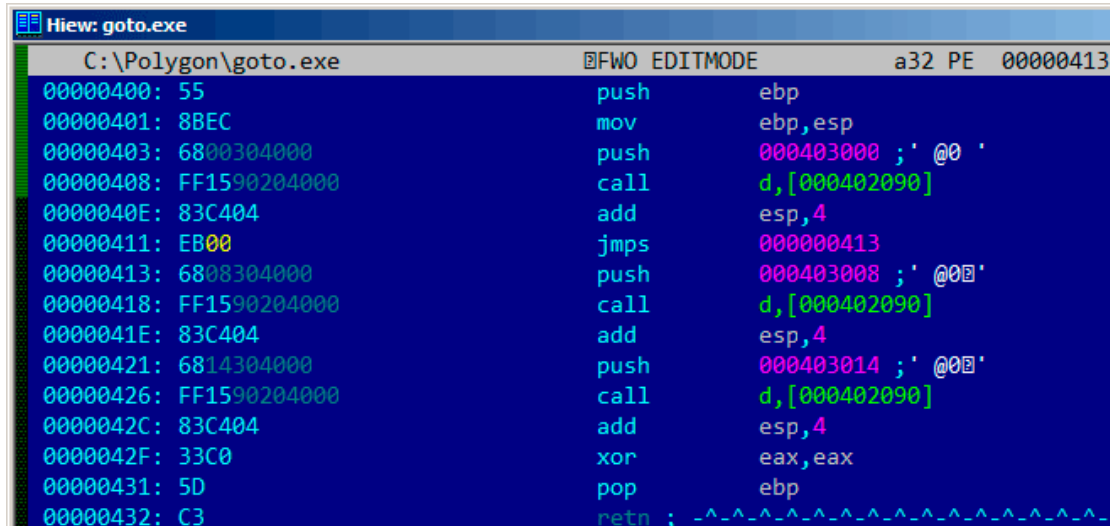
```

C:\Polygon\goto.exe                                0FRO ----- a32 PE .00401000
.00401000: 55                                push        ebp
.00401001: 8BEC                              mov         ebp,esp
.00401003: 6800304000                        push        000403000 ;'begin' --01
.00401008: FF150204000                        call        printf
.0040100E: 83C404                            add         esp,4
.00401011: EB0E                              jmps        .000401021 --02
.00401013: 6808304000                        push        000403008 ;'skip me!' --03
.00401018: FF150204000                        call        printf
.0040101E: 83C404                            add         esp,4
.00401021: 6814304000                        2push      000403014 --04
.00401026: FF150204000                        call        printf
.0040102C: 83C404                            add         esp,4
.0040102F: 33C0                              xor         eax,eax
.00401031: 5D                                pop         ebp
.00401032: C3                                retm       : ^-^-^-^-^-^-^-^-^-^-^-^-^-^-^-^-

```

Figura 1.32: Hiew

Posizioniamo il cursore all'indirizzo di JMP (0x410), premiamo F3 (edit), premiamo due volte zero, così da modificare l'opcode in EB 00:



```

Hiew: goto.exe
C:\Polygon\goto.exe  FWO EDITMODE  a32 PE  00000413
00000400: 55          push     ebp
00000401: 8BEC       mov      ebp,esp
00000403: 6800304000 push     000403000 ;' @0 '
00000408: FF1590204000 call    d,[000402090]
0000040E: 83C404     add      esp,4
00000411: EB00       jmps     00000413
00000413: 6800304000 push     000403008 ;' @00 '
00000418: FF1590204000 call    d,[000402090]
0000041E: 83C404     add      esp,4
00000421: 6814304000 push     000403014 ;' @00 '
00000426: FF1590204000 call    d,[000402090]
0000042C: 83C404     add      esp,4
0000042F: 33C0       xor      eax,eax
00000431: 5D         pop      ebp
00000432: C3         retn    ; ~^~^~^~^~^~^~^~^~^~^~^~^

```

Figura 1.33: Hiew

Il secondo byte dell'opcode di JMP denota l'offset relativo per il salto, 0 significa il punto subito dopo l'istruzione corrente.

Adesso JMP non salterà la seconda chiamata a printf().

Premiamo F9 (save) e usciamo da Hiew. Dopo aver eseguito il programma dovremmo vedere questo:

Listing 1.108: Output dell'eseguibile modificato

```

C:\...\>goto.exe

begin
skip me!
end

```

Lo stesso risultato può essere ottenuto sostituendo l'istruzione JMP con 2 istruzioni NOP.

NOP ha opcode 0x90 ed è lunga 1 byte, quindi servono 2 istruzioni per rimpiazzare JMP (che è lunga 2 byte).

1.17.1 Dead code

In termini di compilatore, la seconda chiamata a printf() è anche detta «dead code» (codice morto). Sta a significare che quel codice non sarà mai eseguito. Se proviamo a compilare l'esempio con le ottimizzazioni, il compilatore rimuove completamente il «dead code», di cui non resta traccia:

Listing 1.109: Con ottimizzazione MSVC 2012

```
$SG2981 DB      'begin', 0aH, 00H
$SG2983 DB      'skip me!', 0aH, 00H
$SG2984 DB      'end', 0aH, 00H

_main PROC
    push        OFFSET $SG2981 ; 'begin'
    call        _printf
    push        OFFSET $SG2984 ; 'end'
$exit$4:
    call        _printf
    add         esp, 8
    xor         eax, eax
    ret         0
_main ENDP
```

Il compilatore si è però dimenticato di rimuovere la stringa «skip me!».

1.17.2 Esercizio

Provate ad ottenere lo stesso risultato utilizzando il vostro compilatore e debugger preferito.

1.18 Jump condizionali

1.18.1 Esempio semplice

```
#include <stdio.h>

void f_signed (int a, int b)
{
    if (a>b)
        printf ("a>b\n");
    if (a==b)
        printf ("a==b\n");
    if (a<b)
        printf ("a<b\n");
};

void f_unsigned (unsigned int a, unsigned int b)
{
    if (a>b)
        printf ("a>b\n");
    if (a==b)
        printf ("a==b\n");
    if (a<b)
        printf ("a<b\n");
};

int main()
```

```
{
    f_signed(1, 2);
    f_unsigned(1, 2);
    return 0;
};
```

x86

x86 + MSVC

La funzione `f_signed()` appare così:

Listing 1.110: Senza ottimizzazione MSVC 2010

```
_a$ = 8
_b$ = 12
_f_signed PROC
    push    ebp
    mov     ebp, esp
    mov     eax, DWORD PTR _a$[ebp]
    cmp     eax, DWORD PTR _b$[ebp]
    jle     SHORT $LN3@f_signed
    push    OFFSET $SG737          ; 'a>b'
    call    _printf
    add     esp, 4
$LN3@f_signed:
    mov     ecx, DWORD PTR _a$[ebp]
    cmp     ecx, DWORD PTR _b$[ebp]
    jne     SHORT $LN2@f_signed
    push    OFFSET $SG739          ; 'a==b'
    call    _printf
    add     esp, 4
$LN2@f_signed:
    mov     edx, DWORD PTR _a$[ebp]
    cmp     edx, DWORD PTR _b$[ebp]
    jge     SHORT $LN4@f_signed
    push    OFFSET $SG741          ; 'a<b'
    call    _printf
    add     esp, 4
$LN4@f_signed:
    pop     ebp
    ret     0
_f_signed ENDP
```

La prima istruzione, `JLE`, sta per *Jump if Less or Equal* (salta se è minore o uguale). In altre parole, se il secondo operando è maggiore o uguale al primo, il flusso di controllo sarà passato all'indirizzo o alla label specificata nell'istruzione. Se questa condizione non è soddisfatta, poiché il secondo operando è più piccolo del primo, il flusso non viene alterato e la prima `printf()` sarà eseguita.

Il secondo controllo è `JNE`: *Jump if Not Equal*. Il flusso non cambia se i due operandi sono uguali.

Il terzo controllo è JGE: *Jump if Greater or Equal*—salta se il primo operando è maggiore del secondo, o se sono uguali. Quindi, se tutti i tre salti condizionali vengono innescati, nessuna delle chiamate a `printf()` sarà eseguita. Ciò è chiaramente impossibile, almeno senza un intervento speciale. Diamo ora un'occhiata alla funzione `f_unsigned()`. La funzione `f_unsigned()` è uguale a `f_signed()`, con l'eccezione che le istruzioni JBE e JAE sono utilizzate al posto di JLE e JGE:

Listing 1.111: GCC

```
_a$ = 8    ; size = 4
_b$ = 12   ; size = 4
_f_unsigned PROC
    push    ebp
    mov     ebp, esp
    mov     eax, DWORD PTR _a$[ebp]
    cmp     eax, DWORD PTR _b$[ebp]
    jbe     SHORT $LN3@f_unsigned
    push    OFFSET $SG2761    ; 'a>b'
    call    _printf
    add     esp, 4
$LN3@f_unsigned:
    mov     ecx, DWORD PTR _a$[ebp]
    cmp     ecx, DWORD PTR _b$[ebp]
    jne     SHORT $LN2@f_unsigned
    push    OFFSET $SG2763    ; 'a==b'
    call    _printf
    add     esp, 4
$LN2@f_unsigned:
    mov     edx, DWORD PTR _a$[ebp]
    cmp     edx, DWORD PTR _b$[ebp]
    jae     SHORT $LN4@f_unsigned
    push    OFFSET $SG2765    ; 'a<b'
    call    _printf
    add     esp, 4
$LN4@f_unsigned:
    pop     ebp
    ret     0
_f_unsigned ENDP
```

Come già detto, le istruzioni di salto (branch instructions) sono diverse: JBE—*Jump if Below or Equal* e JAE—*Jump if Above or Equal*. Queste istruzioni (JA/JAE/JB/JBE) differiscono da JG/JGE/JL/JLE in quanto operano con numeri senza segno (unsigned).

Questo è il motivo per cui se vediamo usare JG/JL al posto di JA/JB, o viceversa, possiamo essere quasi certi che le variabili sono rispettivamente di tipo signed o unsigned. Di seguito è riportata anche la funzione `main()`, dove non c'è niente di nuovo:

Listing 1.112: `main()`

```
_main PROC
    push    ebp
    mov     ebp, esp
    push    2
```

```
    push    1
    call    _f_signed
    add     esp, 8
    push    2
    push    1
    call    _f_unsigned
    add     esp, 8
    xor     eax, eax
    pop     ebp
    ret     0
_main     ENDP
```


x86 + MSVC + OllyDbg

Possiamo vedere come vengono settati i flag facendo girare l'esempio in OllyDbg. Iniziamo con `f_unsigned()`, che funziona con numeri di tipo unsigned.

L'istruzione `CMP` è eseguita tre volte e con gli stessi argomenti, pertanto i flag saranno ogni volta gli stessi.

Risultato del primo confronto:

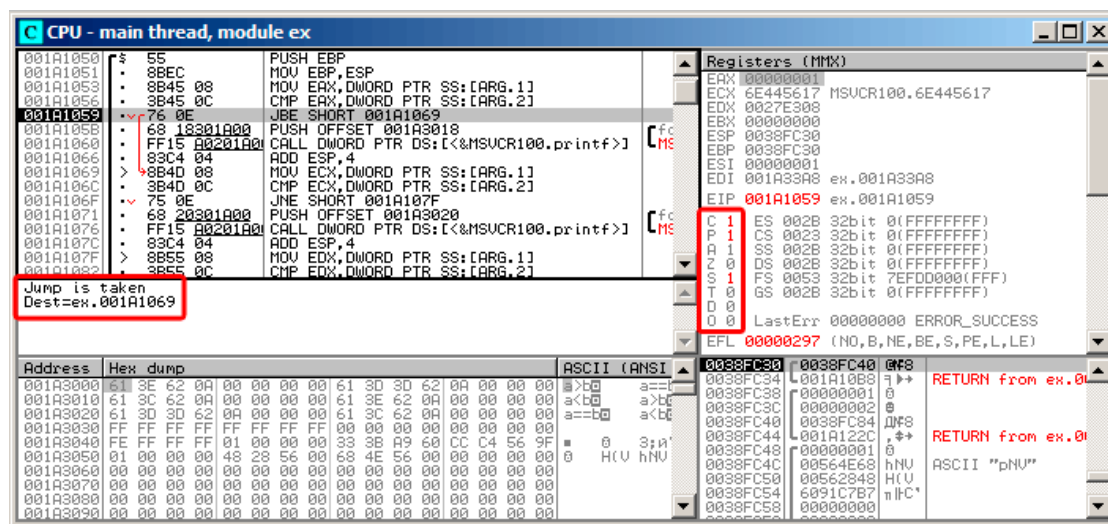


Figura 1.34: OllyDbg: `f_unsigned()`: primo salto condizionale

I flag sono: `C=1`, `P=1`, `A=1`, `Z=0`, `S=1`, `T=0`, `D=0`, `O=0`. In OllyDbg sono riportati per brevità con la sola iniziale.

OllyDbg suggerisce che il jump (`JBE`) sarà innescato. Infatti, consultando i manuali Intel ([8.1.4 on page 308](#)), vediamo che `JBE` è innescato se `CF=1` o `ZF=1`. La condizione è vera, e quindi il salto viene effettuato.

Jump condizionale successivo:

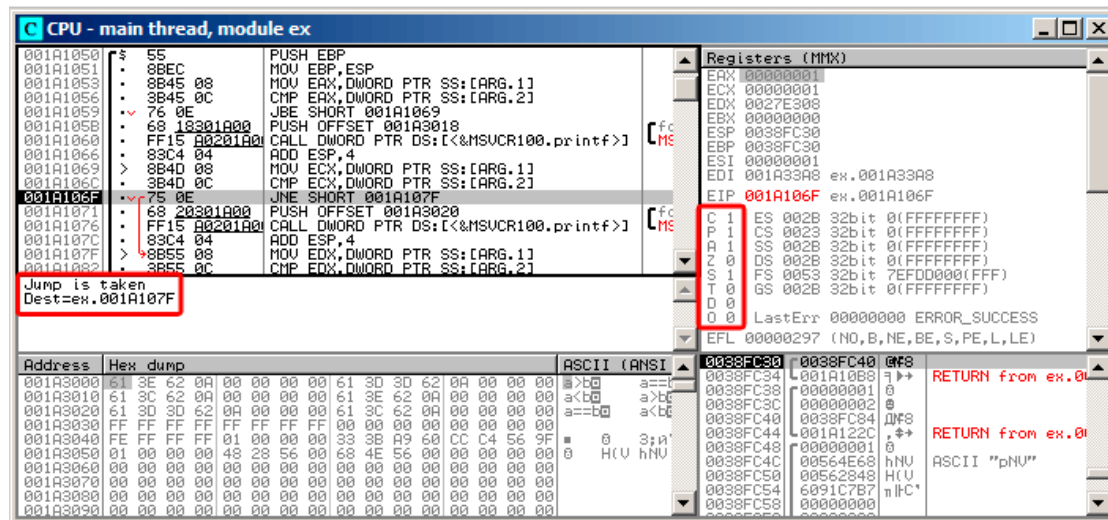


Figura 1.35: OllyDbg: f_unsigned(): secondo salto condizionale

OllyDbg dice che il JNZ verrà seguito. Infatti, JNZ è innescato se ZF=0 (zero flag).

Il terzo salto condizionale, JNB:

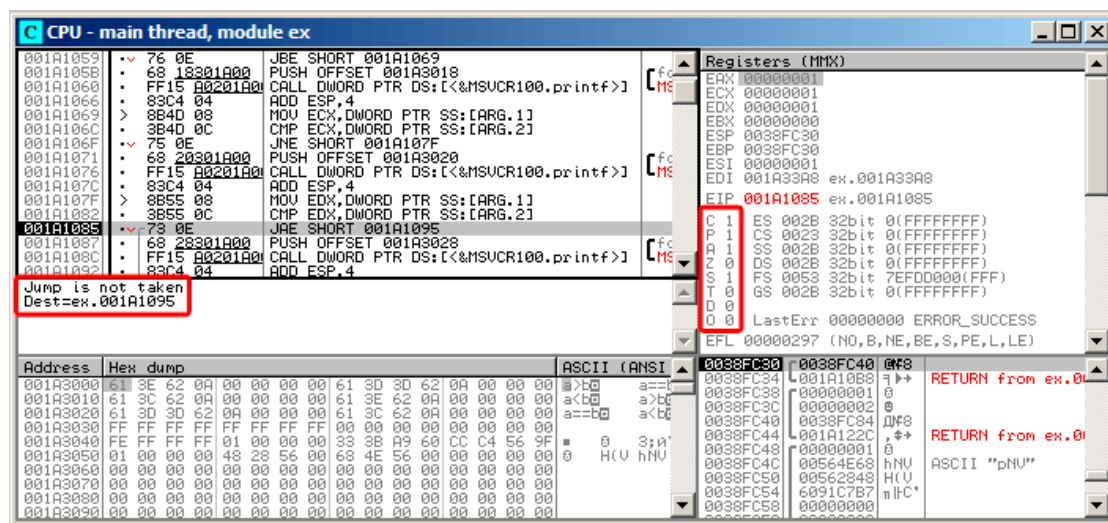


Figura 1.36: OllyDbg: f_unsigned(): terzo salto condizionale

Nei manuali Intel ([8.1.4 on page 308](#)) vediamo che JNB è innescato se CF=0 (carry flag). Nel nostro caso questa condizione non è vera, e quindi la terza printf() sarà eseguita.

Rivediamo ora la funzione `f_signed()`, che opera con valori signed, in OllyDbg. I flag sono settati allo stesso modo: C=1, P=1, A=1, Z=0, S=1, T=0, D=0, O=0. Il primo salto condizionale `JLE` sarà eseguito:

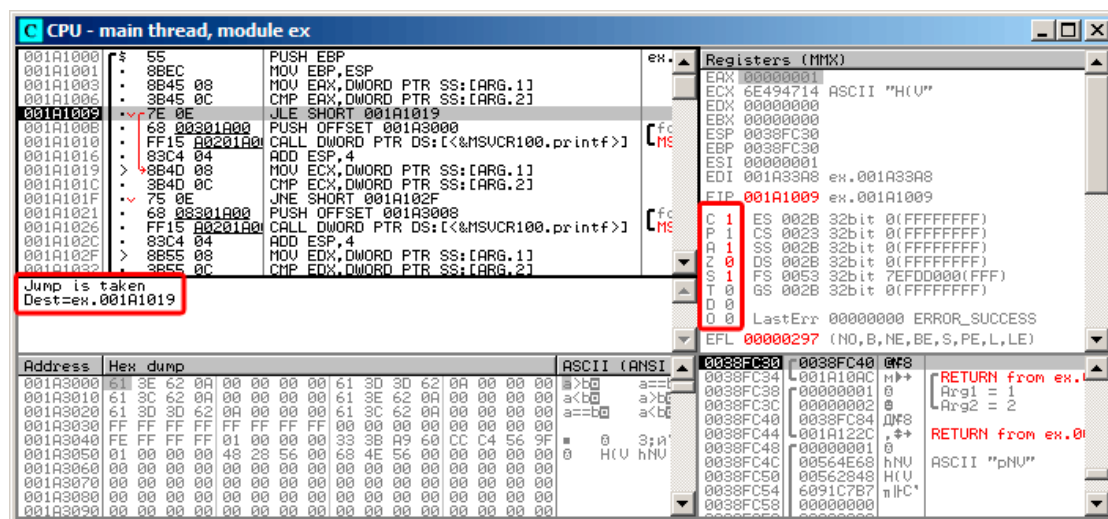


Figura 1.37: OllyDbg: `f_signed()`: primo salto condizionale

Nei manuali Intel ([8.1.4 on page 308](#)) vediamo che questa istruzione viene innescata se `ZF=1` o `SF≠OF`. `SF≠OF` nel nostro caso, quindi il salto viene effettuato.

Il secondo salto condizionale JNZ viene innescato, se ZF=0 (zero flag):

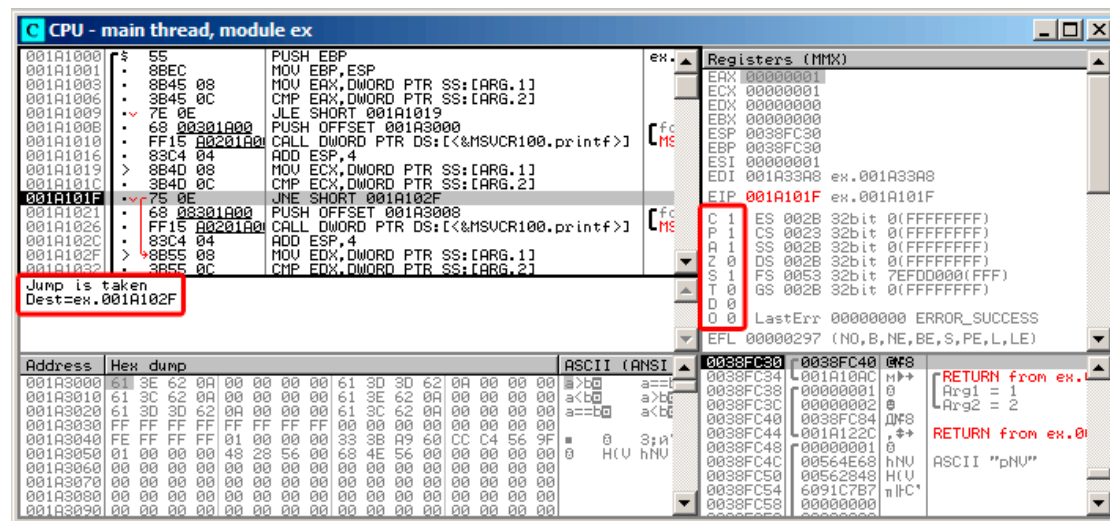


Figura 1.38: OllyDbg: f_signed(): secondo salto condizionale

Il terzo jump JGE non sarà innescato in quanto lo sarebbe solo se $SF=OF$, condizione non vera nel nostro caso:

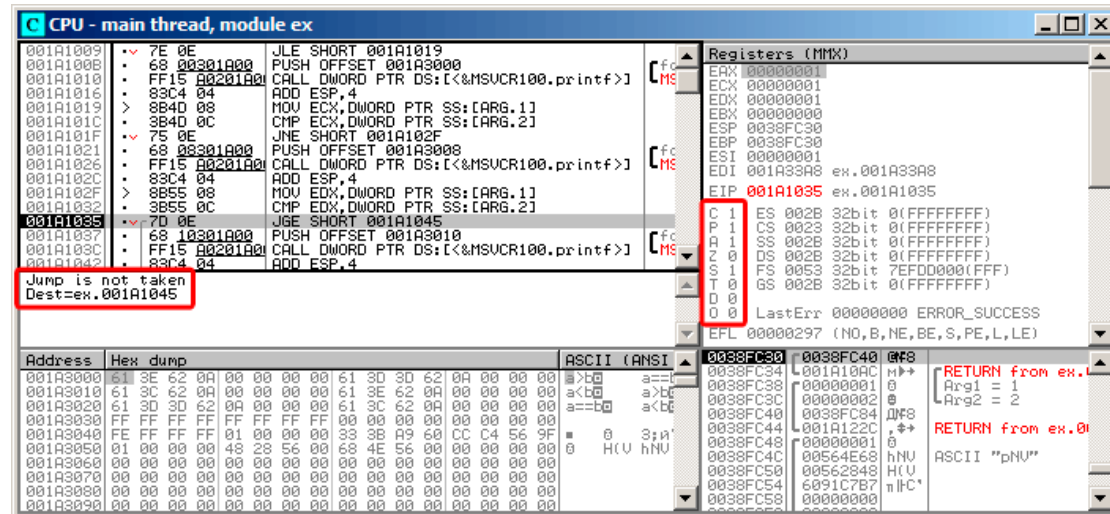


Figura 1.39: OllyDbg: `f_signed()`: terzo salto condizionale

x86 + MSVC + Hiew

Possiamo provare ad applicare una patch all'eseguibile in maniera tale che la funzione `f_unsigned()` stampi sempre «a==b», a prescindere dai valori in input.

```

Hiew: 7_1.exe
C:\Polygon\ollydbg\7_1.exe  FRO ----- a32 PE .00401000 Hiew 8.02 (c)SEN
.00401000: 55          push     ebp
.00401001: 8BEC       mov      ebp,esp
.00401003: 8B4508     mov      eax,[ebp+8]
.00401006: 3B450C     cmp      eax,[ebp+00C]
.00401009: 7E0D      jle      .000401018 --E1
.0040100B: 6800B04000 push     00040B000 --E2
.00401010: E8AA000000 call     .0004010BF --E3
.00401015: 83C404     add      esp,4
.00401018: 8B4D08     1mov     ecx,[ebp+8]
.0040101B: 3B4D0C     cmp      ecx,[ebp+00C]
.0040101E: 750D      jnz      .00040102D --E4
.00401020: 6800B04000 push     00040B008 ;'a==b' --E5
.00401025: E895000000 call     .0004010BF --E3
.0040102A: 83C404     add      esp,4
.0040102D: 8B5508     4mov     edx,[ebp+8]
.00401030: 3B550C     cmp      edx,[ebp+00C]
.00401033: 7D0D      jge      .000401042 --E6
.00401035: 6810B04000 push     00040B010 --E7
.0040103A: E880000000 call     .0004010BF --E3
.0040103F: 83C404     add      esp,4
.00401042: 5D        6pop     ebp
.00401043: C3        ret     ; ^-^-^-^-^-^-^-^-^-^-^-^-^-^-^-^-
.00401044: CC        int     3
.00401045: CC        int     3
.00401046: CC        int     3
.00401047: CC        int     3
.00401048: CC        int     3
1Global 2FileBlk 3CryBlk 4Reloc 5OrdLdr 6String 7Direct 8Table 9Byte 10Leave 11Naked 12AddName

```

Figura 1.40: Hiew: funzione `f_unsigned()`

Essenzialmente, per ottenere il risultato desiderato, dobbiamo:

- forzare il primo jump in modo che sia sempre seguito;
- forzare il secondo jump a non essere mai seguito;
- forzare il terzo jump ad essere sempre seguito.

Possiamo così dirigere il flusso di esecuzione in modo tale da farlo sempre passare attraverso la seconda `printf()`, dando in output «a==b».

Devono essere corrette (patchate) tre istruzioni (o byte):

- Il primo jump diventa `JMP`, ma il [offset di salto](#) resta invariato.
- Il secondo jump potrebbe essere innescato in alcune occasioni, ma in ogni caso salterebbe alla prossima istruzione, poiché settiamo il [offset di salto](#) a 0.

In queste istruzioni il [offset di salto](#) viene sommato all'indirizzo della prossima istruzione. Quindi se l'offset è 0, il jump trasferirà il controllo all'istruzione successiva,

- Possiamo sostituire il terzo jump con JMP allo stesso modo del primo, in modo che sia sempre innescato.


```

f_signed:
    mov     eax, DWORD PTR [esp+8]
    cmp     DWORD PTR [esp+4], eax
    jg      .L6
    je      .L7
    jge     .L1
    mov     DWORD PTR [esp+4], OFFSET FLAT:.LC2 ; "a<b"
    jmp     puts
.L6:
    mov     DWORD PTR [esp+4], OFFSET FLAT:.LC0 ; "a>b"
    jmp     puts
.L1:
    rep ret
.L7:
    mov     DWORD PTR [esp+4], OFFSET FLAT:.LC1 ; "a==b"
    jmp     puts

```

Notiamo anche l'uso di `JMP puts` al posto di `CALL puts / RETN`. Questo trucco sarà spiegato più avanti: [1.21.1 on page 201](#).

Questo tipo di codice x86 è piuttosto raro. MSVC 2012 apparentemente non è in grado di generarne di simile. Dall'altro lato, i programmatori assembly sanno perfettamente che le istruzioni `Jcc` possono essere disposte in fila.

Se vedete codice con una disposizione simile, è molto probabile che sia stato scritto a mano.

La funzione `f_unsigned()` non è esteticamente corta allo stesso modo:

Listing 1.114: GCC 4.8.1 `f_unsigned()`

```

f_unsigned:
    push    esi
    push    ebx
    sub     esp, 20
    mov     esi, DWORD PTR [esp+32]
    mov     ebx, DWORD PTR [esp+36]
    cmp     esi, ebx
    ja      .L13
    cmp     esi, ebx ; questa istruzione può essere rimossa
    je      .L14
.L10:
    jb      .L15
    add     esp, 20
    pop     ebx
    pop     esi
    ret
.L15:
    mov     DWORD PTR [esp+32], OFFSET FLAT:.LC2 ; "a<b"
    add     esp, 20
    pop     ebx
    pop     esi
    jmp     puts
.L13:
    mov     DWORD PTR [esp], OFFSET FLAT:.LC0 ; "a>b"

```

```

        call    puts
        cmp     esi, ebx
        jne     .L10
.L14:
        mov     DWORD PTR [esp+32], OFFSET FLAT:.LC1 ; "a==b"
        add     esp, 20
        pop     ebx
        pop     esi
        jmp     puts

```

Ciò nonostante, ci sono due istruzioni CMP invece di tre. Gli algoritmi di ottimizzazione di GCC 4.8.1 probabilmente non sono ancora perfetti.

ARM

32-bit ARM

Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

Listing 1.115: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

```

.text:000000B8                                EXPORT f_signed
.text:000000B8                                f_signed ; CODE XREF: main+C
.text:000000B8 70 40 2D E9      STMFD     SP!, {R4-R6,LR}
.text:000000BC 01 40 A0 E1      MOV      R4, R1
.text:000000C0 04 00 50 E1      CMP      R0, R4
.text:000000C4 00 50 A0 E1      MOV      R5, R0
.text:000000C8 1A 0E 8F C2      ADRGT    R0, aAB ; "a>b\n"
.text:000000CC A1 18 00 CB      BLGT     __2printf
.text:000000D0 04 00 55 E1      CMP      R5, R4
.text:000000D4 67 0F 8F 02      ADREQ    R0, aAB_0 ; "a==b\n"
.text:000000D8 9E 18 00 0B      BLEQ     __2printf
.text:000000DC 04 00 55 E1      CMP      R5, R4
.text:000000E0 70 80 BD A8      LDMGEFD  SP!, {R4-R6,PC}
.text:000000E4 70 40 BD E8      LDMFD    SP!, {R4-R6,LR}
.text:000000E8 19 0E 8F E2      ADR      R0, aAB_1 ; "a<b\n"
.text:000000EC 99 18 00 EA      B        __2printf
.text:000000EC                                ; End of function f_signed

```

In modalità ARM molte istruzioni possono essere eseguite solo quando specifici flag sono settati. Es. sono spesso usate quando si confrontano numeri.

Ad esempio, l'istruzione ADD è infatti chiamata internamente ADDAL, il suffisso AL sta per *Always*, ad indicare che viene eseguita sempre. I predicati sono codificati nei 4 bit alti dell'istruzione ARM a 32-bit (*condition field*). L'istruzione B per effettuare un salto non condizionale è in realtà condizionale ed è codificata proprio come ogni altro jump condizionale, ma ha AL (*execute Always*) nel *condition field*, e ciò implica che venga sempre eseguito, ignorando i flag.

L'istruzione `ADRGT` funziona come `ADR`, ma viene eseguita soltanto nel caso in cui la precedente istruzione `CMP` trovi uno dei due numeri a confronto più grande dell'altro, (*Greater Than*).

La successiva istruzione `BLGT` si comporta esattamente come `BL` ed il salto viene innescato solo se il risultato del confronto è (*Greater Than*). `ADRGT` scrive un putatore alla stringa `a>b\n` nel registro `R0` e `BLGT` chiama `printf()`. Le istruzioni aventi il suffisso `-GT` in questo caso sono quindi eseguite solo se il valore in `R0` (ovvero *a*) è maggiore del valore in `R4` (ovvero *b*).

Andando avanti vediamo le istruzioni `ADREQ` e `BLEQ`. Si comportano come `ADR` e `BL`, ma vengono eseguite solo se gli operandi erano uguali al momento dell'ultimo confronto. Un'altra `CMP` si trova subito prima di loro (poiché l'esecuzione di `printf()` potrebbe aver alterato i flag).

Ancora più avanti vediamo `LDMGEFD`, questa istruzione funziona come `LDMFD`⁹³, ma viene eseguita solo quando uno dei valori è maggiore di o uguale all'altro (*Greater or Equal*). L'istruzione `LDMGEFD SP!, {R4-R6,PC}` si comporta come un epilogo di funzione, ma viene eseguita solo se $a \geq b$, e solo in tal caso avrà termine l'esecuzione della funzione.

Nel caso in cui questa condizione non venga soddisfatta, ovvero se $a < b$, il flusso continuerà alla successiva istruzione «`LDMFD SP!, {R4-R6,LR}`», un altro epilogo di funzione. Questa istruzione non ripristina soltanto lo stato dei registri `R4-R6`, ma anche `LR` invece di `PC!`, non ritornando così dalla funzione. Le due ultime istruzioni chiamano `printf()` con la stringa «`a<b\n`» come unico argomento. Abbiamo già visto un salto diretto non condizionale alla funzione `printf()` senza altro codice di uscita/ritorno dalla funzione nella sezione «`printf()` con più argomenti» > ([1.11.2 on page 73](#)).

`f_unsigned` è simile, e vengono utilizzate le funzioni `ADRHI`, `BLHI`, e `LDMCSFD`. Questi predicati (*HI = Unsigned higher*, *CS = Carry Set (maggiore di o uguale a)*) sono analoghi a quelli visti in precedenza, e operano su valori di tipo `unsigned`.

Nella funzione `main()` non c'è nulla di nuovo:

Listing 1.116: `main()`

```
.text:00000128      EXPORT main
.text:00000128      main
.text:00000128 10 40 2D E9      STMFD    SP!, {R4,LR}
.text:0000012C 02 10 A0 E3      MOV      R1, #2
.text:00000130 01 00 A0 E3      MOV      R0, #1
.text:00000134 DF FF FF EB      BL       f_signed
.text:00000138 02 10 A0 E3      MOV      R1, #2
.text:0000013C 01 00 A0 E3      MOV      R0, #1
.text:00000140 EA FF FF EB      BL       f_unsigned
.text:00000144 00 00 A0 E3      MOV      R0, #0
.text:00000148 10 80 BD E8      LDMFD    SP!, {R4,PC}
.text:00000148      ; End of function main
```

In questo modo ci si può sbarazzare dei salti condizionali in modalità ARM. Perché è bene? Leggi qui: [2.3.1 on page 284](#).

⁹³`LDMFD`

Non esiste una funzionalità simile in x86, eccetto per l'istruzione CMOVcc , che è uguale a MOV ma viene eseguita solo se specifici flag sono settati, solitamente da CMP.

Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)

Listing 1.117: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)

```
.text:00000072          f_signed ; CODE XREF: main+6
.text:00000072 70 B5          PUSH    {R4-R6,LR}
.text:00000074 0C 00          MOVS    R4, R1
.text:00000076 05 00          MOVS    R5, R0
.text:00000078 A0 42          CMP     R0, R4
.text:0000007A 02 DD          BLE     loc_82
.text:0000007C A4 A0          ADR     R0, aAB          ; "a>b\n"
.text:0000007E 06 F0 B7 F8      BL      __2printf
.text:00000082
.text:00000082          loc_82 ; CODE XREF: f_signed+8
.text:00000082 A5 42          CMP     R5, R4
.text:00000084 02 D1          BNE     loc_8C
.text:00000086 A4 A0          ADR     R0, aAB_0        ; "a==b\n"
.text:00000088 06 F0 B2 F8      BL      __2printf
.text:0000008C
.text:0000008C          loc_8C ; CODE XREF: f_signed+12
.text:0000008C A5 42          CMP     R5, R4
.text:0000008E 02 DA          BGE     locret_96
.text:00000090 A3 A0          ADR     R0, aAB_1        ; "a<b\n"
.text:00000092 06 F0 AD F8      BL      __2printf
.text:00000096
.text:00000096          locret_96 ; CODE XREF: f_signed+1C
.text:00000096 70 BD          POP     {R4-R6,PC}
.text:00000096          ; End of function f_signed
```

Solo le istruzioni B in modalità Thumb possono essere supplementate da *condition codes*, pertanto il codice Thumb ha un aspetto più ordinario.

BLE è un normale jump condizionale *Less than or Equal*, BNE—*Not Equal*, BGE—*Greater than or Equal*.

f_unsigned è simile, con la differenza che vengono usate altre istruzioni per operare con valori di tipo unsigned: BLS (*Unsigned lower or same*) e BCS (*Carry Set (Greater than or equal)*).

ARM64: Con ottimizzazione GCC (Linaro) 4.9

Listing 1.118: f_signed()

```
f_signed:
; w0=a, w1=b
      cmp     w0, w1
      bgt     .L19      ; Branch if Greater Than (a>b)
```

```

        beq     .L20      ; Branch if Equal (a==b)
        bge     .L15      ; Branch if Greater than or Equal (a>=b) (condizione
        ; a<b
        adrp    x0, .LC11      ; "a<b"
        add     x0, x0, :lo12:.LC11
        b       puts
.L19:
        adrp    x0, .LC9       ; "a>b"
        add     x0, x0, :lo12:.LC9
        b       puts
.L15:      ; impossibile arrivare qui
        ret
.L20:
        adrp    x0, .LC10      ; "a==b"
        add     x0, x0, :lo12:.LC10
        b       puts

```

Listing 1.119: f_unsigned()

```

f_unsigned:
        stp     x29, x30, [sp, -48]!
; w0=a, w1=b
        cmp     w0, w1
        add     x29, sp, 0
        str     x19, [sp,16]
        mov     w19, w0
        bhi     .L25      ; Branch if HIgher (a>b)
        cmp     w19, w1
        beq     .L26      ; Branch if Equal (a==b)
.L23:
        bcc     .L27      ; Branch if Carry Clear (if less than) (a<b)
; epilogo della funzione, impossibile arrivare qui
        ldr     x19, [sp,16]
        ldp     x29, x30, [sp], 48
        ret
.L27:
        ldr     x19, [sp,16]
        adrp    x0, .LC11      ; "a<b"
        ldp     x29, x30, [sp], 48
        add     x0, x0, :lo12:.LC11
        b       puts
.L25:
        adrp    x0, .LC9       ; "a>b"
        str     x1, [x29,40]
        add     x0, x0, :lo12:.LC9
        bl      puts
        ldr     x1, [x29,40]
        cmp     w19, w1
        bne     .L23      ; Branch if Not Equal
.L26:
        ldr     x19, [sp,16]
        adrp    x0, .LC10      ; "a==b"
        ldp     x29, x30, [sp], 48

```

```
add    x0, x0, :lo12:LC10
b      puts
```

I commenti nel codice sono stati inseriti dall'autore di questo libro. E' impressionante notare come il compilatore non si sia reso conto che alcune condizioni sono del tutto impossibili, e per questo motivo si trovano delle parti con codice "morto" (dead code), che non può mai essere eseguito.

Esercizio

Prova ad ottimizzare manualmente queste funzioni per ottenere una versione più compatta, rimuovendo istruzioni ridondanti e senza aggiungerne di nuove.

MIPS

Una caratteristica distintiva di MIPS è l'assenza dei flag. Apparentemente è una scelta fatta per semplificare l'analisi della dipendenza dai dati.

Esistono istruzioni simili a SETcc in x86: SLT («Set on Less Than»: versione signed) e SLTU (versione unsigned). Queste istruzioni impostano il valore del registro di destinazione a 1 se la condizione è vera, a 0 se è falsa.

Il registro di destinazione viene quindi controllato usando BEQ («Branch on Equal») oppure BNE («Branch on Not Equal») ed in base al caso si può verificare un salto. Questa coppia di istruzioni è usata in MIPS per eseguire confronti e conseguenti branch. Iniziamo con la versione signed della nostra funzione:

Listing 1.120: Senza ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```
.text:00000000 f_signed: # CODE XREF: main+18
.text:00000000
.text:00000000 var_10 = -0x10
.text:00000000 var_8  = -8
.text:00000000 var_4  = -4
.text:00000000 arg_0   = 0
.text:00000000 arg_4   = 4
.text:00000000
.text:00000000      addiu   $sp, -0x20
.text:00000004      sw      $ra, 0x20+var_4($sp)
.text:00000008      sw      $fp, 0x20+var_8($sp)
.text:0000000C      move    $fp, $sp
.text:00000010      la      $gp, __gnu_local_gp
.text:00000018      sw      $gp, 0x20+var_10($sp)
; memorizza i valori di input nello stack locale:
.text:0000001C      sw      $a0, 0x20+arg_0($fp)
.text:00000020      sw      $a1, 0x20+arg_4($fp)
; reload them.
.text:00000024      lw      $v1, 0x20+arg_0($fp)
.text:00000028      lw      $v0, 0x20+arg_4($fp)
; $v0=b
; $v1=a
.text:0000002C      or      $at, $zero ; NOP
```

```

; questa è una pseudoistruzione. In realtà sarebbe "slt $v0,$v0,$v1".
; Quindi $v0 sarà settato a 1 se $v0<$v1 (b<a), altrimenti a 0:
.text:00000030      slt      $v0, $v1
; salta a loc_5c, se la condizione non è vera.
; pseudoistruzione, sarebbe "beq $v0,$zero,loc_5c":
.text:00000034      beqz     $v0, loc_5C
; stampa "a>b" ed esce
.text:00000038      or       $at, $zero ; branch delay slot, NOP
.text:0000003C      lui      $v0, (unk_230 >> 16) # "a>b"
.text:00000040      addiu    $a0, $v0, (unk_230 & 0xFFFF) # "a>b"
.text:00000044      lw       $v0, (puts & 0xFFFF)($gp)
.text:00000048      or       $at, $zero ; NOP
.text:0000004C      move     $t9, $v0
.text:00000050      jalr     $t9
.text:00000054      or       $at, $zero ; branch delay slot, NOP
.text:00000058      lw       $gp, 0x20+var_10($fp)
.text:0000005C      loc_5C:                                     # CODE XREF: f_signed+34
.text:0000005C      lw       $v1, 0x20+arg_0($fp)
.text:00000060      lw       $v0, 0x20+arg_4($fp)
.text:00000064      or       $at, $zero ; NOP
; controlla se a==b, salta a loc_90 se la condizione non è vera:
.text:00000068      bne      $v1, $v0, loc_90
.text:0000006C      or       $at, $zero ; branch delay slot, NOP
; se la condizione è vera, stampa "a==b" ed esce:
.text:00000070      lui      $v0, (aAB >> 16) # "a==b"
.text:00000074      addiu    $a0, $v0, (aAB & 0xFFFF) # "a==b"
.text:00000078      lw       $v0, (puts & 0xFFFF)($gp)
.text:0000007C      or       $at, $zero ; NOP
.text:00000080      move     $t9, $v0
.text:00000084      jalr     $t9
.text:00000088      or       $at, $zero ; branch delay slot, NOP
.text:0000008C      lw       $gp, 0x20+var_10($fp)
.text:00000090      loc_90:                                     # CODE XREF: f_signed+68
.text:00000090      lw       $v1, 0x20+arg_0($fp)
.text:00000094      lw       $v0, 0x20+arg_4($fp)
.text:00000098      or       $at, $zero ; NOP
; controlla se $v1<$v0 (a<b), imposta $v0 a 1 se la condizione è vera:
.text:0000009C      slt      $v0, $v1, $v0
; se la condizione non è vera (es., $v0==0), salta a loc_c8:
.text:000000A0      beqz     $v0, loc_C8
.text:000000A4      or       $at, $zero ; branch delay slot, NOP
; condizione vera, stampa "a<b" ed esce:
.text:000000A8      lui      $v0, (aAB_0 >> 16) # "a<b"
.text:000000AC      addiu    $a0, $v0, (aAB_0 & 0xFFFF) # "a<b"
.text:000000B0      lw       $v0, (puts & 0xFFFF)($gp)
.text:000000B4      or       $at, $zero ; NOP
.text:000000B8      move     $t9, $v0
.text:000000BC      jalr     $t9
.text:000000C0      or       $at, $zero ; branch delay slot, NOP
.text:000000C4      lw       $gp, 0x20+var_10($fp)
.text:000000C8

```



```
; tutte le 3 condizioni sono false, esce dalla funzione:
.text:000000C8 loc_C8:                                     # CODE XREF:
                f_signed+A0
.text:000000C8      move    $sp, $fp
.text:000000CC      lw      $ra, 0x20+var_4($sp)
.text:000000D0      lw      $fp, 0x20+var_8($sp)
.text:000000D4      addiu   $sp, 0x20
.text:000000D8      jr      $ra
.text:000000DC      or      $at, $zero ; branch delay slot, NOP
.text:000000DC      # End of function f_signed
```

SLT REG0, REG0, REG1 è stata ridotta da Ida nella sua forma breve:
SLT REG0, REG1.

Notiamo anche la pseudo istruzione BEQZ («Branch if Equal to Zero»),
che è in realtà BEQ REG, \$ZERO, LABEL.

La versione unsigned è uguale, SLTU (versione unsigned, da cui la «U» nel nome) è
usata al posto di SLT:

Listing 1.121: Senza ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```
.text:000000E0 f_unsigned: # CODE XREF: main+28
.text:000000E0
.text:000000E0 var_10 = -0x10
.text:000000E0 var_8  = -8
.text:000000E0 var_4  = -4
.text:000000E0 arg_0  = 0
.text:000000E0 arg_4  = 4
.text:000000E0
.text:000000E0      addiu   $sp, -0x20
.text:000000E4      sw      $ra, 0x20+var_4($sp)
.text:000000E8      sw      $fp, 0x20+var_8($sp)
.text:000000EC      move    $fp, $sp
.text:000000F0      la      $gp, __gnu_local_gp
.text:000000F8      sw      $gp, 0x20+var_10($sp)
.text:000000FC      sw      $a0, 0x20+arg_0($fp)
.text:00000100      sw      $a1, 0x20+arg_4($fp)
.text:00000104      lw      $v1, 0x20+arg_0($fp)
.text:00000108      lw      $v0, 0x20+arg_4($fp)
.text:0000010C      or      $at, $zero
.text:00000110      sltu    $v0, $v1
.text:00000114      beqz    $v0, loc_13C
.text:00000118      or      $at, $zero
.text:0000011C      lui     $v0, (unk_230 >> 16)
.text:00000120      addiu   $a0, $v0, (unk_230 & 0xFFFF)
.text:00000124      lw      $v0, (puts & 0xFFFF)($gp)
.text:00000128      or      $at, $zero
.text:0000012C      move    $t9, $v0
.text:00000130      jalr    $t9
.text:00000134      or      $at, $zero
.text:00000138      lw      $gp, 0x20+var_10($fp)
.text:0000013C
.text:0000013C loc_13C:                                     # CODE XREF: f_unsigned+34
.text:0000013C      lw      $v1, 0x20+arg_0($fp)
```

```

.text:00000140      lw      $v0, 0x20+arg_4($fp)
.text:00000144      or      $at, $zero
.text:00000148      bne     $v1, $v0, loc_170
.text:0000014C      or      $at, $zero
.text:00000150      lui     $v0, (aAB >> 16) # "a==b"
.text:00000154      addiu   $a0, $v0, (aAB & 0xFFFF) # "a==b"
.text:00000158      lw      $v0, (puts & 0xFFFF)($gp)
.text:0000015C      or      $at, $zero
.text:00000160      move    $t9, $v0
.text:00000164      jalr    $t9
.text:00000168      or      $at, $zero
.text:0000016C      lw      $gp, 0x20+var_10($fp)
.text:00000170
.text:00000170 loc_170:                                     # CODE XREF: f_unsigned+68
.text:00000170      lw      $v1, 0x20+arg_0($fp)
.text:00000174      lw      $v0, 0x20+arg_4($fp)
.text:00000178      or      $at, $zero
.text:0000017C      sltu    $v0, $v1, $v0
.text:00000180      beqz    $v0, loc_1A8
.text:00000184      or      $at, $zero
.text:00000188      lui     $v0, (aAB_0 >> 16) # "a<b"
.text:0000018C      addiu   $a0, $v0, (aAB_0 & 0xFFFF) # "a<b"
.text:00000190      lw      $v0, (puts & 0xFFFF)($gp)
.text:00000194      or      $at, $zero
.text:00000198      move    $t9, $v0
.text:0000019C      jalr    $t9
.text:000001A0      or      $at, $zero
.text:000001A4      lw      $gp, 0x20+var_10($fp)
.text:000001A8
.text:000001A8 loc_1A8:                                     # CODE XREF: f_unsigned+A0
.text:000001A8      move    $sp, $fp
.text:000001AC      lw      $ra, 0x20+var_4($sp)
.text:000001B0      lw      $fp, 0x20+var_8($sp)
.text:000001B4      addiu   $sp, 0x20
.text:000001B8      jr      $ra
.text:000001BC      or      $at, $zero
.text:000001BC # End of function f_unsigned

```

1.18.2 Calcolo del valore assoluto

Una funzione semplice:

```

int my_abs (int i)
{
    if (i<0)
        return -i;
    else
        return i;
};

```

Con ottimizzazione MSVC

Il codice solitamente generato è questo:

Listing 1.122: Con ottimizzazione MSVC 2012 x64

```
i$ = 8
my_abs PROC
; ECX = input
    test    ecx, ecx
; controllo del segno del valore in input
; salta l'istruzione NEG se il segno è positivo
    jns     SHORT $LN2@my_abs
; valore negato
    neg     ecx
$LN2@my_abs:
; prepara il risultato in EAX:
    mov     eax, ecx
    ret     0
my_abs ENDP
```

GCC 4.9 fa più o meno lo stesso.

Con ottimizzazione Keil 6/2013: Modalità Thumb

Listing 1.123: Con ottimizzazione Keil 6/2013: Modalità Thumb

```
my_abs PROC
    CMP     r0, #0
; il valore in input è maggiore o uguale a zero?
; allora salta l'istruzione RSBS
    BGE     |L0.6|
; sottrai a 0 il valore di input:
    RSBS    r0, r0, #0
|L0.6|
    BX      lr
ENDP
```

In ARM manca l'istruzione di negazione, quindi il compilatore Keil usa l'istruzione «Reverse Subtract», che semplicemente sottrae gli operandi in modo inverso.

Con ottimizzazione Keil 6/2013: Modalità ARM

In modalità ARM è possibile aggiungere codice condizionale ad alcune istruzioni, e questo è ciò che fa il compilatore keil:

Listing 1.124: Con ottimizzazione Keil 6/2013: Modalità ARM

```
my_abs PROC
    CMP     r0, #0
; esegui l'istruzione "Reverse Subtract" solo se
; il valore di input è minore di 0:
    RSBLT   r0, r0, #0
    BX      lr
```

ENDP

Adesso non ci sono più jump condizionali, e ciò è bene: [2.3.1 on page 284](#).

Senza ottimizzazione GCC 4.9 (ARM64)

ARM64 ha un'istruzione NEG per la negazione:

Listing 1.125: Con ottimizzazione GCC 4.9 (ARM64)

```
my_abs:
    sub    sp, sp, #16
    str    w0, [sp,12]
    ldr    w0, [sp,12]
; confronta il valore di input con il contenuto del registro WZR
; (che ha sempre zero)
    cmp    w0, wzr
    bge    .L2
    ldr    w0, [sp,12]
    neg    w0, w0
    b      .L3
.L2:
    ldr    w0, [sp,12]
.L3:
    add    sp, sp, 16
    ret
```

MIPS

Listing 1.126: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```
my_abs:
; salta se $a0<0:
    bltz   $a0, locret_10
; ritorna il valore di input ($a0) in $v0:
    move   $v0, $a0
    jr     $ra
    or     $at, $zero ; branch delay slot, NOP
locret_10:
; nega il valore di input e salvalo in $v0:
    jr     $ra
; questa è una pseudoistruzione. Infatti, questa è "subu $v0,$zero,$a0"
($v0=0-$a0)
    negu   $v0, $a0
```

Qui vediamo una nuova istruzione: BLTZ («Branch if Less Than Zero»).

C'è anche la pseudoistruzione NEGU, che semplicemente fa la sottrazione da zero. Il suffisso «U» suffix in entrambe SUBU e NEGU implica che non verrà sollevata nessuna eccezione in caso di integer overflow.

Branchless version?

C'è anche una versione senza diramazioni (branchless) di questo codice. Ne ripareremo più avanti: ?? on page ??.

1.18.3 Operatore ternario

L'operatore ternario in C/C++ ha la seguente sintassi:

```
espressione ? espressione : espressione
```

Ecco un semplice esempio:

```
const char* f (int a)
{
    return a==10 ? "it is ten" : "it is not ten";
};
```

x86

I vecchi compilatori e quelli non ottimizzanti generano codice assembly come se fosse stata usata una coppia if/else:

Listing 1.127: Senza ottimizzazione MSVC 2008

```
$SG746 DB      'it is ten', 00H
$SG747 DB      'it is not ten', 00H

tv65 = -4 ; questa verrà utilizzata come variabile temporanea
_a$ = 8
_f      PROC
        push     ebp
        mov      ebp, esp
        push     ecx
; confronta il valore in input con 10
        cmp      DWORD PTR _a$[ebp], 10
; se non è uguale, salta a $LN3@f
        jne      SHORT $LN3@f
; salva il puntatore alla stringa nella variabile temporanea:
        mov      DWORD PTR tv65[ebp], OFFSET $SG746 ; 'it is ten'
; salta a exit
        jmp      SHORT $LN4@f
$LN3@f:
; salva il puntatore alla stringa nella variabile temporanea:
        mov      DWORD PTR tv65[ebp], OFFSET $SG747 ; 'it is not ten'
$LN4@f:
; questa è l' exit.
; copia il puntatore alla stringa dalla variabile temporanea in EAX.
        mov      eax, DWORD PTR tv65[ebp]
        mov      esp, ebp
        pop      ebp
        ret      0
_f      ENDP
```

Listing 1.128: Con ottimizzazione MSVC 2008

```

$SG792 DB      'it is ten', 00H
$SG793 DB      'it is not ten', 00H

_a$ = 8 ; dimensione = 4
_f PROC
; confronta il valore input con 10
    cmp     DWORD PTR _a$[esp-4], 10
    mov     eax, OFFSET $SG792 ; 'it is ten'
; se è uguale, salta a $LN4@f
    je      SHORT $LN4@f
    mov     eax, OFFSET $SG793 ; 'it is not ten'
$LN4@f:
    ret     0
_f ENDP

```

I nuovi compilatori sono più concisi:

Listing 1.129: Con ottimizzazione MSVC 2012 x64

```

$SG1355 DB      'it is ten', 00H
$SG1356 DB      'it is not ten', 00H

a$ = 8
f PROC
; carica i puntatore ad entrambe le stringhe
    lea     rdx, OFFSET FLAT:$SG1355 ; 'it is ten'
    lea     rax, OFFSET FLAT:$SG1356 ; 'it is not ten'
; confronta il valore di input con 10
    cmp     ecx, 10
; se è uguale, copia il valore da RDX ("it is ten")
; altrimenti, non fare niente. Il puntatore alla stringa
; "it is not ten" è già in RAX.
    cmov     rax, rdx
    ret     0
f ENDP

```

Con ottimizzazione GCC 4.8 per x86 usa anche l'istruzione CMOVcc, mentre la versione non-optimizing usa jump condizionali.

ARM

Anche l'ottimizzazione Keil per ARM mode usa le istruzioni condizionali ADRcc:

Listing 1.130: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

```

f PROC
; confronta il valore in input con 10
    CMP     r0, #0xa
; se il risultato del confronto è uguale, copia il puntatore alla stringa "it
    is ten" in R0
    ADREQ   r0, |L0.16| ; "it is ten"
; se il risultato del confronto è diverso, copia il puntatore alla stringa
; "it is not ten" in R0

```

```

        ADRNE    r0,|L0.28| ; "it is not ten"
        BX      lr
    ENDP

|L0.16|
        DCB      "it is ten",0
|L0.28|
        DCB      "it is not ten",0

```

Senza alcun intervento manuale, le due istruzioni ADREQ e ADRNE non possono essere eseguite nella stessa istanza.

Con ottimizzazione Keil per Thumb mode deve usare i jump condizionali, in quanto non esistono istruzioni di caricamento che supportano i flag condizionali:

Listing 1.131: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)

```

f PROC
; confronta il valore in input con 10
        CMP      r0,#0xa
; Se è uguale, salta a |L0.8|
        BEQ      |L0.8|
        ADR      r0,|L0.12| ; "it is not ten"
        BX      lr
|L0.8|
        ADR      r0,|L0.28| ; "it is ten"
        BX      lr
    ENDP

|L0.12|
        DCB      "it is not ten",0
|L0.28|
        DCB      "it is ten",0

```

ARM64

L' Con ottimizzazione GCC (Linaro) 4.9 per ARM64 usa anch'esso i jump condizionali:

Listing 1.132: Con ottimizzazione GCC (Linaro) 4.9

```

f:
        cmp      x0, 10
        beq      .L3          ; salta se è uguale
        adrp     x0, .LC1      ; "it is ten"
        add      x0, x0, :lo12:LC1
        ret

.L3:
        adrp     x0, .LC0      ; "it is not ten"
        add      x0, x0, :lo12:LC0
        ret

.LC0:
        .string  "it is ten"
.LC1:
        .string  "it is not ten"

```

Ciò avviene perché ARM64 non ha una semplice istruzione di caricamento con flag condizionali, come `ADRcc` in ARM mode a 32-bit o `CMOVcc` in x86.

Tuttavia ha l'istruzione «Conditional SElect» (CSEL)[*ARM Architecture Reference Manual, ARMv8, for ARMv8-A architecture profile*, (2013)p390, C5.5], ma GCC 4.9 non sembra essere abbastanza intelligente da usarla in un simile pezzo di codice.

MIPS

Sfortunatamente, anche GCC 4.4.5 per MIPS non è molto intelligente:

Listing 1.133: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (risultato dell'assembly)

```
$LC0:
    .ascii "it is not ten\000"
$LC1:
    .ascii "it is ten\000"
f:
    li      $2,10                # 0xa
; confronta $a0 e 10, se sono uguali salta:
    beq     $4,$2,$L2
    nop ; branch delay slot

; metti l'indirizzo della stringa "it is not ten" in $v0 e ritorna:
    lui     $2,%hi($LC0)
    j       $31
    addiu   $2,$2,%lo($LC0)

$L2:
; metti l'indirizzo della stringa "it is ten" in $v0 e return:
    lui     $2,%hi($LC1)
    j       $31
    addiu   $2,$2,%lo($LC1)
```

Riscriviamolo come un if/else

```
const char* f (int a)
{
    if (a==10)
        return "it is ten";
    else
        return "it is not ten";
};
```

E' interessante notare che GCC 4.8 ottimizzante per x86 è stato in grado di usare `CMOVcc` in questo caso:

Listing 1.134: Con ottimizzazione GCC 4.8

```
.LC0:
    .string "it is ten"
.LC1:
    .string "it is not ten"
```



```
f:
.LFB0:
; confronta il valore di input con 10
    cmp     DWORD PTR [esp+4], 10
    mov     edx, OFFSET FLAT:.LC1 ; "it is not ten"
    mov     eax, OFFSET FLAT:.LC0 ; "it is ten"
; se il risultato del confronto non è uguale, copia il valore di EDX in EAX
; altrimenti, non fare nulla
    cmovne  eax, edx
    ret
```

Keil ottimizzante in ARM mode genera codice identico a listato [1.130](#).

Ma MSVC 2012 ottimizzante non è (ancora) così in gamba.

Conclusione

Perché i compilatori ottimizzanti cercano di sbarazzarsi dei jump condizionali? Leggi qui: [2.3.1 on page 284](#).

1.18.4 Ottenere i valori massimo e minimo

32-bit

```
int my_max(int a, int b)
{
    if (a>b)
        return a;
    else
        return b;
};

int my_min(int a, int b)
{
    if (a<b)
        return a;
    else
        return b;
};
```

Listing 1.135: Senza ottimizzazione MSVC 2013

```
_a$ = 8
_b$ = 12
_my_min PROC
    push    ebp
    mov     ebp, esp
    mov     eax, DWORD PTR _a$[ebp]
; confronta A e B:
    cmp     eax, DWORD PTR _b$[ebp]
; se A è maggiore o uguale a B, salta:
    jge     SHORT $LN2@my_min
```

```

; altrimenti ricarica A in EAX EAX e salta a exit
    mov     eax, DWORD PTR _a$[ebp]
    jmp     SHORT $LN3@my_min
    jmp     SHORT $LN3@my_min ; questo JMP è rindondante
$LN2@my_min:
; ritorna B
    mov     eax, DWORD PTR _b$[ebp]
$LN3@my_min:
    pop     ebp
    ret     0
_my_min ENDP

_a$ = 8
_b$ = 12
_my_max PROC
    push    ebp
    mov     ebp, esp
    mov     eax, DWORD PTR _a$[ebp]
; confronta A e B:
    cmp     eax, DWORD PTR _b$[ebp]
; se A è minore o uguale a B, salta:
    jle     SHORT $LN2@my_max
; altrimenti ricarica A in EAX e salta a exit
    mov     eax, DWORD PTR _a$[ebp]
    jmp     SHORT $LN3@my_max
    jmp     SHORT $LN3@my_max ; questo JMP è rindondante
$LN2@my_max:
; ritorna B
    mov     eax, DWORD PTR _b$[ebp]
$LN3@my_max:
    pop     ebp
    ret     0
_my_max ENDP

```

Queste due funzioni differiscono solo per l'istruzione di salto condizionale: JGE («Jump if Greater or Equal») è usata nella prima e JLE («Jump if Less or Equal») nella seconda.

In ciascuna funzione c'è un'istruzione JMP non necessaria, che MSVC ha probabilmente lasciato per sbaglio.

Branchless

ARM in modalità Thumb ci ricorda molto codice x86:

Listing 1.136: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)

```

my_max PROC
; R0=A
; R1=B
; confronta A e B:
    CMP     r0,r1
; se A è maggiore di B salta:

```

```

        BGT      |L0.6|
; altrimenti (A<=B) ritorna R1 (B):
        MOVS     r0,r1
|L0.6|
; ritorna
        BX       lr
        ENDP

my_min PROC
; R0=A
; R1=B
; confronta A e B:
        CMP      r0,r1
; se A è minore di B, salta:
        BLT      |L0.14|
; altrimenti (A>=B) ritorna R1 (B):
        MOVS     r0,r1
|L0.14|
; ritorna
        BX       lr
        ENDP

```

Le funzioni differiscono per le istruzioni di branching: BGT e BLT. Essendo possibile usare suffissi condizionali in modalità ARM, il codice è più conciso.

MOVcc viene eseguita se la condizione è soddisfatta:

Listing 1.137: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

```

my_max PROC
; R0=A
; R1=B
; confronta A e B:
        CMP      r0,r1
; restituisci B al posto di A inserendo B in R0
; questa istruzione si attiva solo se A<=B (quindi, LE - Less or Equal)
; se l'istruzione non si attiva (cioè se A>B),
; A è ancora nel registro R0
        MOVLE    r0,r1
        BX       lr
        ENDP

my_min PROC
; R0=A
; R1=B
; confronta A e B:
        CMP      r0,r1
; ritorna B al posto di A inserendo B in R0
; questa istruzione si attiva solo se A>=B (quindi, GE - Greater or Equal)
; se l'istruzione non si attiva (cioè A<B),
; il valore A è ancora nel registro R0
        MOVGE    r0,r1
        BX       lr
        ENDP

```

Con ottimizzazione, GCC 4.8.1 e MSVC 2013 possono usare l'istruzione CMOVcc, che è analoga a MOVcc in ARM:

Listing 1.138: Con ottimizzazione MSVC 2013

```
my_max:
    mov     edx, DWORD PTR [esp+4]
    mov     eax, DWORD PTR [esp+8]
; EDX=A
; EAX=B
; confronta A e B:
    cmp     edx, eax
; se A>=B, carica il valore di A in EAX
; altrimenti questa istruzione è inutile (se A<B)
    cmovge  eax, edx
    ret

my_min:
    mov     edx, DWORD PTR [esp+4]
    mov     eax, DWORD PTR [esp+8]
; EDX=A
; EAX=B
; confronta A e B:
    cmp     edx, eax
; se A<=B, carica il valore di A in EAX
; altrimenti questa istruzione è inutile (se A>B)
    cmovle  eax, edx
    ret
```

64-bit

```
#include <stdint.h>

int64_t my_max(int64_t a, int64_t b)
{
    if (a>b)
        return a;
    else
        return b;
};

int64_t my_min(int64_t a, int64_t b)
{
    if (a<b)
        return a;
    else
        return b;
};
```

C'è un po' di spostamento di valori non necessario, ma il codice è comprensibile:

Listing 1.139: Senza ottimizzazione GCC 4.9.1 ARM64

```

my_max:
    sub    sp, sp, #16
    str    x0, [sp,8]
    str    x1, [sp]
    ldr    x1, [sp,8]
    ldr    x0, [sp]
    cmp    x1, x0
    ble    .L2
    ldr    x0, [sp,8]
    b      .L3
.L2:
    ldr    x0, [sp]
.L3:
    add    sp, sp, 16
    ret

my_min:
    sub    sp, sp, #16
    str    x0, [sp,8]
    str    x1, [sp]
    ldr    x1, [sp,8]
    ldr    x0, [sp]
    cmp    x1, x0
    bge    .L5
    ldr    x0, [sp,8]
    b      .L6
.L5:
    ldr    x0, [sp]
.L6:
    add    sp, sp, 16
    ret

```

Branchless

Non è necessario caricare gli argomenti della funzione dallo stack poiché sono già nei registri:

Listing 1.140: Con ottimizzazione GCC 4.9.1 x64

```

my_max:
; RDI=A
; RSI=B
; confronta A e B:
    cmp    rdi, rsi
; carica B in RAX per ritornarlo:
    mov    rax, rsi
; se A>=B, carica A (RDI) in RAX per ritornarlo.
; altrimenti questa istruzione è inutile (se A<B)
    cmovge rax, rdi
    ret

my_min:

```

```

; RDI=A
; RSI=B
; confronta A e B:
    cmp    rdi, rsi
; carica B in RAX per ritornarlo:
    mov    rax, rsi
; se A<=B, carica A (RDI) in RAX per ritornarlo.
; altrimenti questa istruzione è inutile (se A>B)
    cmovle rax, rdi
    ret

```

MSVC 2013 fa pressoché lo stesso.

ARM64 ha l'istruzione CSEL, che funziona esattamente come MOVcc in ARM o CMOVcc in x86, cambia soltanto il nome: «Conditional SElect».

Listing 1.141: Con ottimizzazione GCC 4.9.1 ARM64

```

my_max:
; X0=A
; X1=B
; confronta A e B:
    cmp    x0, x1
; seleziona X0 (A) a X0 se X0>=X1 o A>=B (Greater or Equal)
; seleziona X1 (B) a X0 se A<B
    csel   x0, x0, x1, ge
    ret

my_min:
; X0=A
; X1=B
; confronta A e B:
    cmp    x0, x1
; seleziona X0 (A) a X0 se X0<=X1 o A<=B (Less or Equal)
; seleziona X1 (B) a X0 se A>B
    csel   x0, x0, x1, le
    ret

```

MIPS

Sfortunatamente GCC 4.4.5 per MIPS non è altrettanto bravo:

Listing 1.142: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```

my_max:
; se $a1<$a0 imposta $v1 a 1 $a1<$a0, altrimenti pulisci (se $a1>$a0):
    slt    $v1, $a1, $a0
; se $v1 è 0 (o $a1>$a0), salta:
    beqz   $v1, locret_10
; this is branch delay slot
; carica $a1 in $v0 nel caso il salto sia attivato:
    move   $v0, $a1
; se il salto non è attivato, carica $a0 in $v0:
    move   $v0, $a0

```

```

locret_10:
        jr      $ra
        or      $at, $zero ; branch delay slot, NOP

; la funzione min() è uguale, ma gli operandi in input nell'
; istruzione SLT sono scambiati:
my_min:
        slt     $v1, $a0, $a1
        beqz    $v1, locret_28
        move    $v0, $a1
        move    $v0, $a0

locret_28:
        jr      $ra
        or      $at, $zero ; branch delay slot, NOP

```

Non ci dimentichiamo dei *branch delay slot*: la prima MOVE è eseguita *prima* di BEQZ, la seconda MOVE viene eseguita solo se il branch non è stato seguito.

1.18.5 Conclusione

x86

La forma grezza di un jump condizionale è la seguente:

Listing 1.143: x86

```

CMP register, register/value
Jcc true ; cc=condition code
false:
;... codice da eseguire se il risultato del confronto è false ...
JMP exit
true:
;... codice da eseguire se il risultato del confronto è true ...
exit:

```

ARM

Listing 1.144: ARM

```

CMP register, register/value
Bcc true ; cc=condition code
false:
;... codice da eseguire se il risultato del confronto è false ...
JMP exit
true:
;... codice da eseguire se il risultato del confronto è true ...
exit:

```

MIPS

Listing 1.145: Check for zero

```
BEQZ REG, label  
...
```

Listing 1.146: Check for less than zero (using pseudoinstruction)

```
BLTZ REG, label  
...
```

Listing 1.147: Check for equal values

```
BEQ REG1, REG2, label  
...
```

Listing 1.148: Check for non-equal values

```
BNE REG1, REG2, label  
...
```

Listing 1.149: Check for less than (signed)

```
SLT REG1, REG2, REG3  
BEQ REG1, label  
...
```

Listing 1.150: Check for less than (unsigned)

```
SLTU REG1, REG2, REG3  
BEQ REG1, label  
...
```

Branchless

Se il corpo di uno statement condizionale è molto piccolo, può essere utilizzata l'istruzione "move" condizionale: MOVcc in ARM (in ARM mode), CSEL in ARM64, CMOVcc in x86.

ARM

In ARM è possibile usare suffissi condizionali per alcune istruzioni:

Listing 1.151: ARM (Modalità ARM)

```
CMP register, register/value  
instr1_cc ; istruzione che sarà eseguita se il condition code è true  
instr2_cc ; altra istruzione che sarà eseguita se il condition code è true  
;... etc...
```


Ovviamente non c'è limite al numero di istruzioni con il suffisso condizionale, a patto che le flag CPU non siano modificate da nessuna istruzione.

La modalità Thumb ha l'istruzione IT, che permette di aggiungere suffissi condizionali alle prossime quattro istruzioni. Maggiori informazioni qui: **??** on page **??**.

Listing 1.152: ARM (Modalità Thumb)

```
CMP register, register/value
ITEEE EQ ; imposta questi suffissi: if-then-else-else-else
instr1  ; istruzione da eseguire se la condizione è true
instr2  ; istruzione da eseguire se la condizione è false
instr3  ; istruzione da eseguire se la condizione è false
instr4  ; istruzione da eseguire se la condizione è false
```

1.18.6 Esercizio

(ARM64) Prova a riscrivere il codice in listato [1.132](#) rimuovendo tutti i jump condizionali e usando al loro posto l'istruzione CSEL instruction.

1.19 Software cracking

La maggior parte dei software può essere craccata in questo modo — cercando la reale posizione dove la protezione viene controllata, un dongle (**??** on page **??**), license key, serial number, etc.

Solitamente è del tipo:

```
...
call check_protection
jz  all_OK
call message_box_protection_missing
call exit
all_OK:
; procedi
...
```

Quindi se vedete una patch (o “crack”), che cracca un software, e questa patch rimpiazza i byte 0x74/0x75 (JZ/JNZ) con 0xEB (JMP), è tutto qui.

Il processo di cracking del software si riduce alla ricerca di quel JMP.

Ci sono anche casi, dove un software controlla la protezione ogni tanto, questo può essere un dongle, o un server di licenza può richiederlo attraverso internet. In questo caso bisogna cercare la funzione che controlla la protezione. Quindi per applicare una patch, inserire `xor eax, eax / retn`, o `mov eax, 1 / retn`.

E' importante capire che dopo aver applicato una patch all'inizio di una funzione, di solito, un garbage esegue queste due istruzioni. Il garbage è composto da una parte di un' istruzione e diverse altre successive.

Questo è un caso reale. L'inizio della funzione che vogliamo *rimpiazzare* con `return 1;`

Listing 1.153: Prima

8BFF	mov	edi,edi
55	push	ebp
8BEC	mov	ebp,esp
81EC68080000	sub	esp,000000868
A110C00001	mov	eax,[00100C010]
33C5	xor	eax,ebp
8945FC	mov	[ebp][-4],eax
53	push	ebx
8B5D08	mov	ebx,[ebp][8]
...		

Listing 1.154: Dopo

B801000000	mov	eax,1
C3	retn	
EC	in	al,dx
68080000A1	push	0A1000008
10C0	adc	al,al
0001	add	[ecx],al
33C5	xor	eax,ebp
8945FC	mov	[ebp][-4],eax
53	push	ebx
8B5D08	mov	ebx,[ebp][8]
...		

Diverse istruzioni sbagliate appaiono — IN, PUSH, ADC, ADD, dopo che, il disassemblatore Hiew (che ho appena usato) ha sincronizzato e continuato a disassemblare tutto il resto.

Ciò non è importante — tutte queste istruzioni successive a RETN non saranno mai eseguite, a meno che da qualche parte avvenga un salto diretto, e questo non dovrebbe essere possibile in generale.

Inoltre, potrebbe essere presente una variabile booleana globale, con una flag, se il software è registrato oppure no.

init_etc proc	
...	
call	check_protection_or_license_file
mov	is_demo, eax
...	
retn	
init_etc endp	
...	
save_file proc	
...	

```

mov  eax, is_demo
cmp  eax, 1
jz   all_OK1

call message_box_it_is_a_demo_no_saving_allowed
retn

:all_OK1
; continua a salvare il file

...

save_proc endp

somewhere_else proc

mov  eax, is_demo
cmp  eax, 1
jz   all_OK

; controlla se siamo in esecuzione da 15 minuti
; esci se è così
; o mostra sullo schermo qualcosa di fastidioso

:all_OK2
; continua

somewhere_else endp

```

All'inizio di una funzione `check_protection_or_license_file()` si potrebbe applicare una patch, cosicchè ritorni sempre 1 o se conviene, per diverse ragioni, applicare una patch a tutte le funzioni JZ/JNZ.

Altro sulle patch: ??.

1.20 Impossible shutdown practical joke (Windows 7)

Non ricordo quasi più come ho trovato la funzione `ExitWindowsEx()` nel file `user32.dll` di Windows (era la fine degli anni '90). Probabilmente, notai solo in suo nome autoesplicativo. E poi provai a *bloccarla* applicando una patch al suo inizio con il byte `0xC3` (RETN).

Il risultato fu divertente: Windows 98 non poteva più essere spento. Dovetti premere il tasto reset.

Recentemente ho provato a replicare su Windows 7, il quale è stato creato quasi 10 anni dopo e si basa su una base Windows NT completamente diversa. Ancora la funzione `ExitWindowsEx()` è presente nel file `user32.dll` soddisfa lo stesso compito.

Innanzitutto, ho spento la *Windows File Protection* aggiungendola al registro (Windows would silently restore modified system files otherwise):

Windows Registry Editor Version 5.00

```
[HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\Microsoft\Windows NT\CurrentVersion\Winlogon]
"SFCDisable"=dword:ffffff9d
```

Poi ho rinominato `c:\windows\system32\user32.dll` in `user32.dll.bak`. Ho trovato `ExitWindowsEx()` usando Hiew (IDA può essere altrettanto utile) e ho inserito il byte `0xC3`. Ho riavviato Windows 7 e ora non può più essere spento. I pulsanti "Restart" e "Logoff" non funzionano più.

Non so se è ancora divertente, ma alla fine degli anni '90, un mio amico copiò il file `user32.dll` con la patch su un floppy disk e lo mise in tutti i computer (al quale poteva accedere, che avevano Windows 98 (quasi tutti)) nella sua università. Nessun Windows poteva essere più spento e il suo insegnante di informatica si spaventò a morte. (Nel caso stesse leggendo, speriamo ci possa perdonare.)

Se volete farlo, eseguite un backup completo. L'idea migliore sarebbe quella di eseguire Windows in una macchina virtuale.

1.21 switch()/case/default

1.21.1 Pochi casi

```
#include <stdio.h>

void f (int a)
{
    switch (a)
    {
        case 0: printf ("zero\n"); break;
        case 1: printf ("one\n"); break;
        case 2: printf ("two\n"); break;
        default: printf ("something unknown\n"); break;
    };
};

int main()
{
    f (2); // test
};
```

x86

Senza ottimizzazione MSVC

Risultato (MSVC 2010):

Listing 1.155: MSVC 2010

```

tv64 = -4 ; size = 4
_a$ = 8   ; size = 4
_f PROC
    push    ebp
    mov     ebp, esp
    push    ecx
    mov     eax, DWORD PTR _a$[ebp]
    mov     DWORD PTR tv64[ebp], eax
    cmp     DWORD PTR tv64[ebp], 0
    je      SHORT $LN4@f
    cmp     DWORD PTR tv64[ebp], 1
    je      SHORT $LN3@f
    cmp     DWORD PTR tv64[ebp], 2
    je      SHORT $LN2@f
    jmp     SHORT $LN1@f
$LN4@f:
    push    OFFSET $SG739 ; 'zero', 0aH, 00H
    call    _printf
    add     esp, 4
    jmp     SHORT $LN7@f
$LN3@f:
    push    OFFSET $SG741 ; 'one', 0aH, 00H
    call    _printf
    add     esp, 4
    jmp     SHORT $LN7@f
$LN2@f:
    push    OFFSET $SG743 ; 'two', 0aH, 00H
    call    _printf
    add     esp, 4
    jmp     SHORT $LN7@f
$LN1@f:
    push    OFFSET $SG745 ; 'something unknown', 0aH, 00H
    call    _printf
    add     esp, 4
$LN7@f:
    mov     esp, ebp
    pop     ebp
    ret     0
_f ENDP

```

La nostra funzione con pochi casi nello switch() è praticamente analogo a questa costruzione:

```

void f (int a)
{
    if (a==0)
        printf ("zero\n");
    else if (a==1)
        printf ("one\n");
    else if (a==2)
        printf ("two\n");
    else
        printf ("something unknown\n");
};

```

Nel caso di `switch()` con un piccolo numero di casi, è impossibile essere sicuri che nel sorgente originale ci fosse veramente la funzione `switch()` o soltanto una serie di costrutti `if()`.

Ciò vuol dire che `switch()` si comporta come "zucchero sintattico", equivalente ad un alto numero di `if()` annidati.

Dal nostro punto di vista non c'è niente di particolarmente nuovo nel codice generato, con l'eccezione dello spostamento (da parte del compilatore) della variabile in input *a* in una variabile locale temporanea `tv64`⁹⁴.

Se compiliamo questo codice con 4.4.1 otteniamo pressoché lo stesso risultato, anche con il maggior livello di ottimizzazione (`-O3` option).

Con ottimizzazione MSVC

Ora attiviamo l'ottimizzazione in MSVC (`/Ox`): `cl 1.c /Fa1.asm /Ox`

Listing 1.156: MSVC

```

_a$ = 8 ; size = 4
_f    PROC
    mov     eax, DWORD PTR _a$[esp-4]
    sub     eax, 0
    je      SHORT $LN4@f
    sub     eax, 1
    je      SHORT $LN3@f
    sub     eax, 1
    je      SHORT $LN2@f
    mov     DWORD PTR _a$[esp-4], OFFSET $SG791 ; 'something unknown', 0aH,
00H
    jmp     _printf
$LN2@f:
    mov     DWORD PTR _a$[esp-4], OFFSET $SG789 ; 'two', 0aH, 00H
    jmp     _printf
$LN3@f:
    mov     DWORD PTR _a$[esp-4], OFFSET $SG787 ; 'one', 0aH, 00H
    jmp     _printf
$LN4@f:
    mov     DWORD PTR _a$[esp-4], OFFSET $SG785 ; 'zero', 0aH, 00H
    jmp     _printf
_f    ENDP

```

Qui possiamo vedere un po' di trucchetti.

Primo: il valore di *a* è messo in EAX, e gli viene sottratto 0. Sembra assurdo, ma è fatto per controllare se il valore in EAX è 0. Se sì, il flag ZF viene settato (i.e. sottrarre 0 a 0 da 0) e il primo jump condizionale JE (*Jump if Equal* o il sinonimo JZ —*Jump if Zero*) è innescato e il controllo del flusso passato alla label `$LN4@f`, dove il messaggio

⁹⁴Le variabili locali nello stack hanno il prefisso `tv`— MSVC nomina così le variabili locali per i suoi scopi

'zero' viene stampato. Se il primo jump non viene innescato, 1 viene sottratto dal valore in input e se ad un certo punto il risultato è 0, il jump corrispondente viene innescato.

Se nessun jump viene innescato, il controllo del flusso passa a `printf()` con l'argomento

'something unknown'.

Secondo: notiamo qualcosa di inusuale per noi: un puntatore a stringa viene messo nella variabile `a`, e successivamente viene chiamata `printf()` non tramite `CALL`, ma via `JMP`. C'è una spiegazione semplice dietro ciò: il [chiamante](#) mette un valore sullo stack e chiama la nostra funzione tramite `CALL`. La stessa `CALL` fa il push del return address ([RA](#)) sullo stack e fa un salto non condizionale all'indirizzo della nostra funzione. La nostra funzione, in qualunque punto della sua esecuzione (poiché non contiene istruzioni che spostano lo stack pointer) ha il seguente layout dello stack:

- ESP—punta a [RA](#)
- ESP+4—punta alla variabile `a`

Dall'altro lato, quando dobbiamo chiamare `printf()` qui abbiamo bisogno esattamente dello stesso layout dello stack, eccetto per il primo argomento di `printf()`, che deve puntare alla stringa. E questo è ciò che fa il codice.

Sostituisce il primo argomento della funzione con l'indirizzo della stringa, e salta a `printf()`, come se non avessimo chiamato la nostra funzione `f()`, ma direttamente `printf()`. `printf()` stampa una stringa su [stdout](#) e successivamente esegue l'istruzione `RET`, che fa il POP del [RA](#) dallo stack, e il controllo del flusso viene restituito non a `f()` ma al [chiamante](#) di `f()`, bypassando la fine della funzione `f()`.

Tutto ciò è possibile perchè `printf()` è chiamata proprio alla fine della funzione `f()` in tutti i casi. In qualche modo è simile alla funzione `longjmp()`⁹⁵ function. E, ovviamente, tutto ciò viene fatto a favore della velocità di esecuzione.

Un simile caso con il compilatore ARM è descritto nella sezione «`printf()` con più argomenti», qui ([1.11.2 on page 73](#)).

⁹⁵ [wikipedia](#)

OllyDbg

Visto che questo esempio è ingannevole, seguiamolo da OllyDbg.

OllyDbg può rilevare tali costrutti switch () e può aggiungere alcuni commenti utili. EAX vale 2 all' inizio, che è il valore di input della funzione:

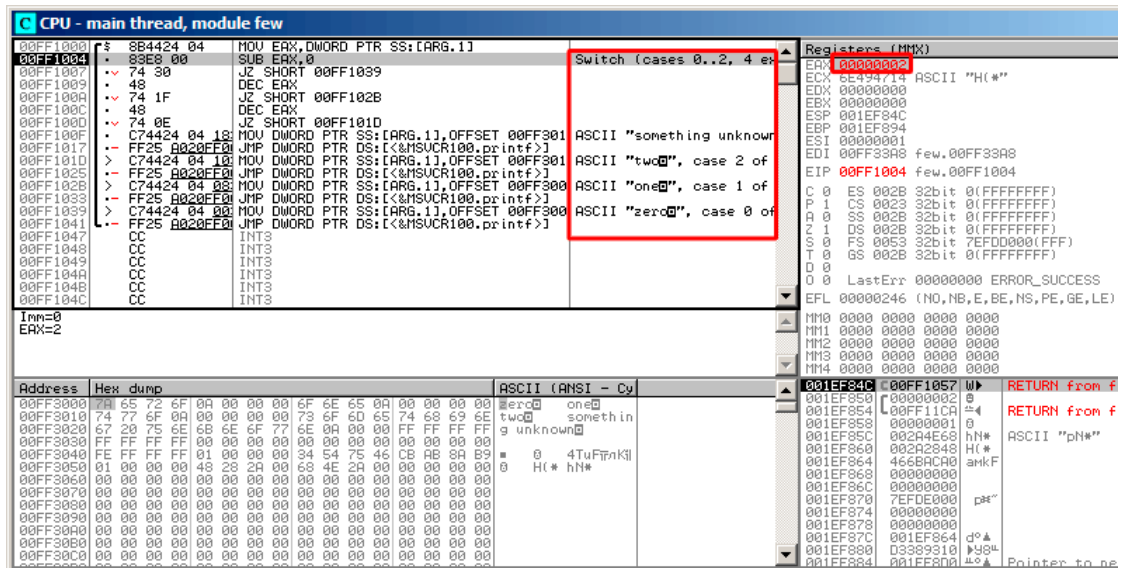


Figura 1.42: OllyDbg: EAX ora contiene il primo (e solo) argomento della funzione

0 è sottratto da 2 in EAX. Ovviamente, EAX contiene ancora 2. Ma lo ZF flag è ora 0, ad indicare che il risultato è diverso da zero:

CPU - main thread, module few

Address	Hex dump	Assembly	Comment
00FF1000	8B4424 04	MOV EAX, DWORD PTR SS:[ARG.1]	
00FF1004	83E8 00	SUB EAX, 0	Switch (cases 0..2, 4 ex
00FF1007	74 30	JZ SHORT 00FF1039	
00FF1009	43	DEC EAX	
00FF100A	74 1F	JZ SHORT 00FF102B	
00FF100C	43	DEC EAX	
00FF100D	74 0E	JZ SHORT 00FF101D	
00FF100F	C74424 04 18	MOV DWORD PTR SS:[ARG.1], OFFSET 00FF3011	ASCII "something unknown"
00FF1017	FF25 0020FF01	JMP DWORD PTR DS:[<&MSUCR100.printf>]	
00FF101D	C74424 04 18	MOV DWORD PTR SS:[ARG.1], OFFSET 00FF3011	ASCII "two", case 2 of
00FF1025	FF25 0020FF01	JMP DWORD PTR DS:[<&MSUCR100.printf>]	
00FF102B	C74424 04 08	MOV DWORD PTR SS:[ARG.1], OFFSET 00FF3001	ASCII "one", case 1 of
00FF1033	FF25 0020FF01	JMP DWORD PTR DS:[<&MSUCR100.printf>]	
00FF1039	C74424 04 00	MOV DWORD PTR SS:[ARG.1], OFFSET 00FF3001	ASCII "zero", case 0 of
00FF1041	FF25 0020FF01	JMP DWORD PTR DS:[<&MSUCR100.printf>]	
00FF1047	CC	INT3	
00FF1048	CC	INT3	
00FF1049	CC	INT3	
00FF104A	CC	INT3	
00FF104B	CC	INT3	
00FF104C	CC	INT3	

Jump is not taken
Dest=few.00FF1039

Address	Hex dump	ASCII (ANSI - Cy)
00FF3000	65 72 6F 0A 00 00 00 6F 6E 65 0A 00 00 00 00	zero one
00FF3010	74 77 6F 0A 00 00 00 73 6F 6D 65 74 68 69 6E	two something
00FF3020	67 20 75 6E 68 6E 6F 77 6E 0A 00 FF FF FF FF	g unknown
00FF3030	FF FF FF FF 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF3040	FE FF FF FF 01 00 00 00 34 54 75 46 CB AB 8A 89	# 0 4TuFpnKl
00FF3050	01 00 00 00 45 23 24 00 65 4E 2A 00 00 00 00	H(* hN*
00FF3060	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF3070	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF3080	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF3090	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF30A0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF30B0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF30C0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	

Registers (MMX)

Register	Value
EAX	00000002
ECX	6E494714 ASCII "H(*"
EDX	00000000
EBX	00000000
ESP	001EF84C
EBP	001EF894
ESI	00000001
EDI	00FF33A8 few.00FF33A8
EIP	00FF1007 few.00FF1007
CS	002B 32bit 0(FFFFFFFF)
DS	002B 32bit 0(FFFFFFFF)
SS	002B 32bit 0(FFFFFFFF)
FS	0053 32bit 7EFDD000(FFF)
GS	002B 32bit 0(FFFFFFFF)
LastErr	00000000 ERROR_SUCCESS
EFL	00000202 (NO, NB, NE, A, NS, PO, GE, G)
MM0	0000 0000 0000 0000
MM1	0000 0000 0000 0000
MM2	0000 0000 0000 0000
MM3	0000 0000 0000 0000
MM4	0000 0000 0000 0000

Call Stack

Address	Module	Function
001EF84C	00FF1057	RETURN from
001EF850	00000002	
001EF854	00FF11CA	RETURN from
001EF858	00000001	
001EF85C	00244E68	hN*
001EF860	002A2848	ASCII "pN*"
001EF864	466BACA0	ankF
001EF868	00000000	
001EF86C	00000000	
001EF870	7EFDE000	pN*
001EF874	00000000	
001EF878	00000000	
001EF87C	001EF864	d°
001EF880	D3389310	hN*
001EF884	001EF800	Printer to p

Figura 1.43: OllyDbg: SUB eseguito

E' stato eseguito DEC e ora EAX contiene 1. Ma 1 è diverso da zero, quindi lo ZF flag è ancora 0:

CPU - main thread, module few

Address	Hex dump	Assembly	Comment
00FF1000	8B4424 04	MOV EAX, DWORD PTR SS:[ARG.1]	
00FF1004	33E8 00	SUB EAX, 0	
00FF1007	74 30	JZ SHORT 00FF1039	
00FF1009	48	DEC EAX	
00FF100A	74 1F	JZ SHORT 00FF102B	
00FF100C	48	DEC EAX	
00FF100D	74 0E	JZ SHORT 00FF101D	
00FF100F	C74424 04 18	MOV DWORD PTR SS:[ARG.1], OFFSET 00FF3011	ASCII "something unknown"
00FF1017	FF25 0020FF00	JMP DWORD PTR DS:[<&MSUCR100.printf>]	
00FF101D	C74424 04 18	MOV DWORD PTR SS:[ARG.1], OFFSET 00FF3011	ASCII "two", case 2 of
00FF1025	FF25 0020FF00	JMP DWORD PTR DS:[<&MSUCR100.printf>]	
00FF102B	C74424 04 08	MOV DWORD PTR SS:[ARG.1], OFFSET 00FF3000	ASCII "one", case 1 of
00FF1033	FF25 0020FF00	JMP DWORD PTR DS:[<&MSUCR100.printf>]	
00FF1039	C74424 04 00	MOV DWORD PTR SS:[ARG.1], OFFSET 00FF3000	ASCII "zero", case 0 of
00FF1041	FF25 0020FF00	JMP DWORD PTR DS:[<&MSUCR100.printf>]	
00FF1047	CC	INT3	
00FF1048	CC	INT3	
00FF1049	CC	INT3	
00FF104A	CC	INT3	
00FF104B	CC	INT3	
00FF104C	CC	INT3	

Jump is not taken
Dest=few.00FF102B

Registers (MMX)

Register	Value
EAX	00000001
ECX	6E494714 ASCII "H(#"
EDX	00000000
EBX	00000000
ESP	001EF84C
EBP	001EF894
ESI	00000001
EDI	00FF33A8 few.00FF33A8
EIP	00FF100A few.00FF100A
EAX	00000001
ECX	002B 32bit 0(FFFFFFFF)
EDX	002B 32bit 0(FFFFFFFF)
EBX	002B 32bit 0(FFFFFFFF)
ESP	002B 32bit 0(FFFFFFFF)
EBP	002B 32bit 0(FFFFFFFF)
ESI	002B 32bit 0(FFFFFFFF)
EDI	002B 32bit 0(FFFFFFFF)
EIP	002B 32bit 0(FFFFFFFF)
LastError	00000000 ERROR_SUCCESS
EFL	00000202 (NO, NB, NE, A, NS, PO, GE, G)

Address Hex dump ASCII (ANSI - Cy)

Address	Hex dump	ASCII
00FF3000	65 72 6F 0A 00 00 00 6F 6E 65 0A 00 00 00 00 00	zero one
00FF3010	74 77 6F 0A 00 00 00 73 6F 6D 65 74 68 69 6E	two something
00FF3020	67 20 75 6E 68 6E 6F 77 6E 0A 00 00 FF FF FF	g unknown
00FF3030	FE FF FF FF 01 00 00 00 34 54 75 46 CB AB 8A B9	0 4TuFpKJ
00FF3040	01 00 00 00 48 28 00 68 4E 2A 00 00 00 00 00	0 H(# hN*
00FF3050	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF3060	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF3070	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF3080	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF3090	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF30A0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF30B0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF30C0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	

Registers (MMX)

Register	Value
EAX	00000001
ECX	00FF11CA
EDX	00000001
EBX	002A4E58 hN*
ESP	002A4E58 hN*
EBP	466BAC00 amkF
ESI	00000000
EDI	00000000
EIP	7EFD0000 p#"
LastError	001EF864 d°
EFL	03389310 p48
Pointer to...	001EF800

Figura 1.44: OllyDbg: primo DEC eseguito

Il seguente DEC è stato eseguito. EAX è finalmente 0 e lo ZF flag viene impostato, perchè il risultato è zero:

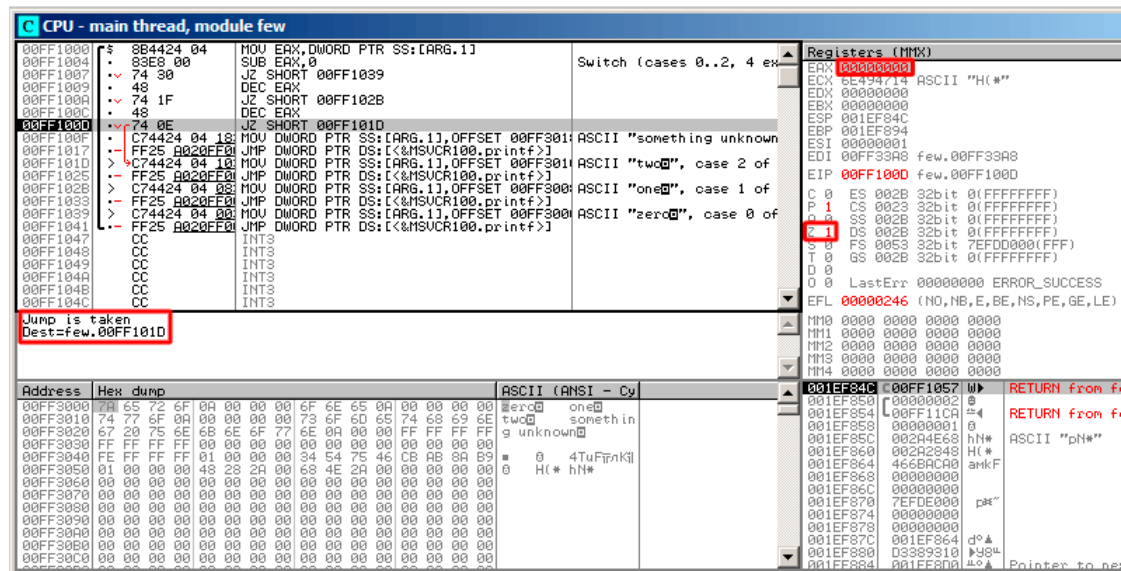


Figura 1.45: OllyDbg: secondo DEC eseguito

OllyDbg mostra che questo salto ora verrà eseguito.

Ora, il puntatore alla stringa «two», verrà scritto nello stack:

CPU - main thread, module few

Address	Hex dump	ASCII (ANSI - Cy)
00FF1000	8B 44 24 04	MOV EAX, DWORD PTR SS:[ARG.1]
00FF1004	83 E8 00	SUB EAX, 0
00FF1007	74 30	JZ SHORT 00FF1039
00FF1009	48	DEC EAX
00FF100A	74 1F	JZ SHORT 00FF102B
00FF100C	48	DEC EAX
00FF100D	74 0E	JZ SHORT 00FF101D
00FF100F	C7 44 24 04 18	MOV DWORD PTR SS:[ARG.1], OFFSET 00FF3018
00FF1012	FF 25 A0 20 FF 00	JMP DWORD PTR DS:[&MSUCR100.printf]
00FF1015	C7 44 24 04 18	MOV DWORD PTR SS:[ARG.1], OFFSET 00FF3018
00FF1018	FF 25 A0 20 FF 00	JMP DWORD PTR DS:[&MSUCR100.printf]
00FF101B	C7 44 24 04 08	MOV DWORD PTR SS:[ARG.1], OFFSET 00FF3008
00FF101E	FF 25 A0 20 FF 00	JMP DWORD PTR DS:[&MSUCR100.printf]
00FF1021	C7 44 24 04 00	MOV DWORD PTR SS:[ARG.1], OFFSET 00FF3000
00FF1024	FF 25 A0 20 FF 00	JMP DWORD PTR DS:[&MSUCR100.printf]
00FF1027	CC	INT3
00FF1028	CC	INT3
00FF1029	CC	INT3
00FF102A	CC	INT3
00FF102B	CC	INT3
00FF102C	CC	INT3

Registers (MMX)

Register	Value
EAX	00000000
ECX	6E494714 ASCII "H(*)"
EDX	00000000
EBX	00000000
ESP	001EF84C
EBP	001EF894
ESI	00000001
EDI	00FF33A8 few.00FF33A8
EIP	00FF101D few.00FF101D

Memory Dump

Address	Hex dump	ASCII (ANSI - Cy)
00FF3000	65 72 6F 0A 00 00 00 00 6F 6E 65 0A 00 00 00 00	zero one
00FF3010	74 77 6F 0A 00 00 00 00 73 6F 6D 65 74 68 69 6E	two somethin
00FF3020	67 20 75 6E 65 6E 6F 77 6E 0A 00 00 FF FF FF FF	g unknown
00FF3030	FF FF FF FF 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF3040	FE FF FF FF 01 00 00 00 34 54 75 46 CB AB 8A B9	0 4TuFtnk
00FF3050	01 00 00 00 48 28 2A 00 68 4E 2A 00 00 00 00 00	H(*) hN*
00FF3060	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF3070	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF3080	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF3090	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF30A0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF30B0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF30C0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	

Registers (MMX) (continued)

Register	Value
MM0	0000 0000 0000 0000
MM1	0000 0000 0000 0000
MM2	0000 0000 0000 0000
MM3	0000 0000 0000 0000
MM4	0000 0000 0000 0000

Stack [001EF850]=2

Jump from 00FF100D

RETURN from 001EF850

Figura 1.46: OllyDbg: il puntatore alla stringa verrà scritto nel posto del primo argomento

Nota: l'argomento corrente della funzione è 2 e 2 ora si trova nello stack all'indirizzo 0x001EF850.

MOV scrive il puntatore alla stringa all'indirizzo 0x001EF850 (notare la finestra dello stack). Dopodichè, avviene il salto. Questa è la prima istruzione della funzione printf() in MSVCRT100.DLL (Questo esempio è stato compilato con lo switch /MD):

CPU - main thread, module MSVCRT100

Address	Hex	Disassembly	Comment
6E445584	6A 0C	PUSH 0C	
6E445586	68 3056446E	PUSH 6E445630	
6E445588	E8 C0B3FAFF	CALL 6E3F0950	
6E445590	33C0	XOR EAX, EAX	
6E445592	33F6	XOR ESI, ESI	
6E445594	3975 08	CMP DWORD PTR SS:[EBP+8], ESI	
6E445597	9F95C0	SETNE AL	
6E44559A	3BC6	CMP EAX, ESI	
6E44559C	75 15	JNE SHORT 6E4455B3	
6E44559E	E8 72B2FAFF	CALL _errno	
6E4455A3	C700 16000000	MOV DWORD PTR DS:[EAX], 16	
6E4455A9	E8 D0590200	CALL _invalid_parameter_noinfo	
6E4455AE	83C8 FF	OR EAX, FFFFFFFF	
6E4455B1	EB 5F	JMP SHORT 6E445612	
6E4455B3	E8 78E4FAFF	CALL _iob_func	
6E4455B8	6A 20	PUSH 20	
6E4455BA	5B	POP EBX	
6E4455BB	03C3	ADD EAX, EBX	
6E4455BD	50	PUSH EAX	
6E4455BE	6A 01	PUSH 1	
6E4455C0	E8 F453F8FF	CALL 6E3FA9B9	

Registers (MMX)

Register	Value
EAX	00000000
ECX	6E494714
EDX	00000000
EBX	00000000
ESP	001EF84C
EBP	001EF894
ESI	00000001
EDI	00FF33A8
EIP	6E445584

Stack

Address	Value
[001EF848]	few.00FF3064
[001EF84C]	12

ASCII (ANSI - Cy)

Address	Value
001EF850	H(*

Disassembly

Address	Hex	Disassembly	Comment
6E445584	6A 0C	PUSH 0C	
6E445586	68 3056446E	PUSH 6E445630	
6E445588	E8 C0B3FAFF	CALL 6E3F0950	
6E445590	33C0	XOR EAX, EAX	
6E445592	33F6	XOR ESI, ESI	
6E445594	3975 08	CMP DWORD PTR SS:[EBP+8], ESI	
6E445597	9F95C0	SETNE AL	
6E44559A	3BC6	CMP EAX, ESI	
6E44559C	75 15	JNE SHORT 6E4455B3	
6E44559E	E8 72B2FAFF	CALL _errno	
6E4455A3	C700 16000000	MOV DWORD PTR DS:[EAX], 16	
6E4455A9	E8 D0590200	CALL _invalid_parameter_noinfo	
6E4455AE	83C8 FF	OR EAX, FFFFFFFF	
6E4455B1	EB 5F	JMP SHORT 6E445612	
6E4455B3	E8 78E4FAFF	CALL _iob_func	
6E4455B8	6A 20	PUSH 20	
6E4455BA	5B	POP EBX	
6E4455BB	03C3	ADD EAX, EBX	
6E4455BD	50	PUSH EAX	
6E4455BE	6A 01	PUSH 1	
6E4455C0	E8 F453F8FF	CALL 6E3FA9B9	

Figura 1.47: OllyDbg: prima istruzione della printf() in MSVCRT100.DLL

Ora la printf() tratta la stringa a 0x00FF3010 come unico argomento e stampa la stringa.

Questa è l'ultima istruzione della printf():

CPU - main thread, module MSVCRT100

Address	Disassembly	Comment
6E4455D0	PUSH EAX	
6E4455D1	PUSH ESI	
6E4455D2	PUSH DWORD PTR SS:[EBP+8]	
6E4455E2	CALL 6E445617	CALL 6E445617
6E4455E7	ADD EAX,EBX	
6E4455E9	PUSH EAX	
6E4455EA	CALL 6E445617	CALL 6E445617
6E4455F2	CALL 6E445617	CALL 6E445617
6E4455F7	ADD EAX,EBX	
6E4455F9	PUSH EAX	
6E4455FA	PUSH EDI	
6E4455FB	CALL 6E445617	CALL 6E445617
6E445600	ADD ESP,18	
6E445603	MOV DWORD PTR SS:[EBP-4],-2	
6E44560A	CALL 6E445617	CALL 6E445617
6E44560F	MOV EAX,DWORD PTR SS:[EBP-1C]	
6E445612	CALL 6E445617	CALL 6E445617
6E445617	RETN	
6E445618	CALL 6E445617	CALL 6E445617
6E44561D	ADD EAX,20	

Top of stack [001EF84C]=few.00FF1057

MSVCRT100.printf+93

Address	Hex dump	ASCII (ANSI - Cy)
00FF3000	65 72 6F 0A 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	erod one
00FF3010	74 77 6F 0A 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	two somethin
00FF3020	67 20 75 6E 6E 6E 6E 6E 6E 6E 6E 6E 6E 6E 6E 6E	g unknown
00FF3030	FF FF FF FF 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF3040	FE FF FF FF 01 00 00 00 34 54 75 46 CB AB 8A 89	# 0 4TuFirnkl
00FF3050	01 00 00 00 48 23 2A 00 63 4E 2A 00 00 00 00 00	0 H* hN*
00FF3060	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF3070	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF3080	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF3090	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF30A0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF30B0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
00FF30C0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	

Registers (MMX)

Register	Value
EAX	00000004
ECX	6E445617 MSVCRT100.6E445617
EDX	0009DC88
EBX	00000000
ESP	001EF84C
EBP	001EF834
ESI	00000001
EDI	00FF33A8 few.00FF33A8
EIP	6E445617 MSVCRT100.6E445617

MMX

Register	Value
MM0	0000 0000 0000 0000
MM1	0000 0000 0000 0000
MM2	0000 0000 0000 0000
MM3	0000 0000 0000 0000
MM4	0000 0000 0000 0000

001EF84C 00FF1057 W RETURN from f

Address	Hex dump	ASCII (ANSI - Cy)
001EF850	00FF3010 10	ASCII "two"
001EF854	00FF11CA 24	RETURN from f
001EF858	00000001 0	
001EF85C	002A4E63 hN*	ASCII "pN"
001EF860	002A2848 H(*	
001EF864	466BAC00 amKF	
001EF868	00000000	
001EF86C	00000000	
001EF870	7EFD0000	
001EF874	00000000	
001EF878	00000000	
001EF87C	001EF864 d*	
001EF880	0389310 39	Pointer to ne
001EF884	001EF880 4*	

Figura 1.48: OllyDbg: ultima istruzione della printf() in MSVCRT100.DLL

La stringa «two» è appena stata stampata nella finestra della console.

Ora premiamo F7 o F8 (step over) e ritorniamo...non nella `f()`, ma piuttosto nel `main()`:

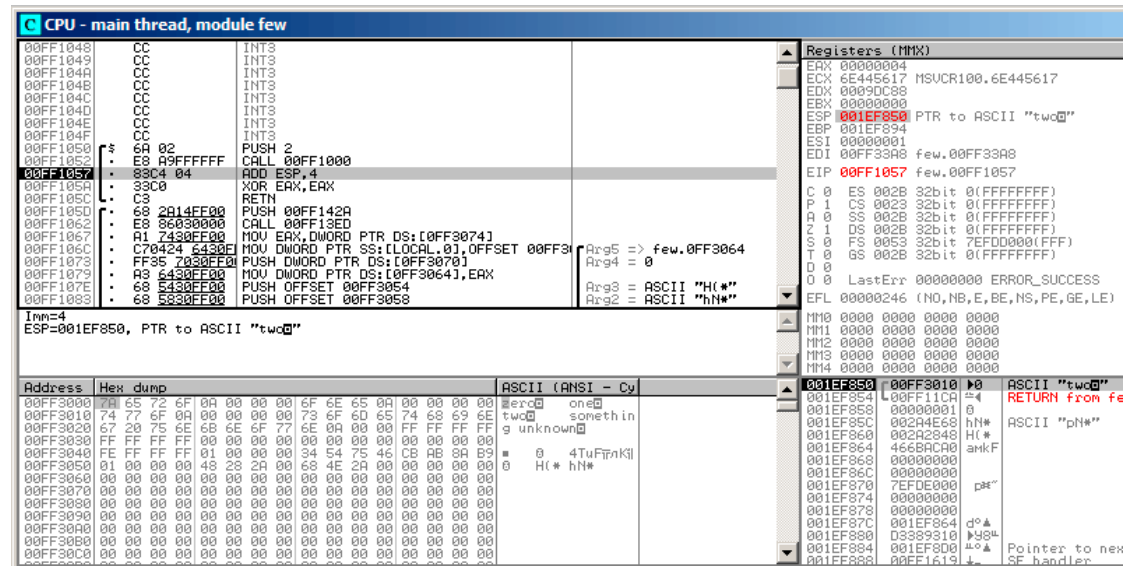


Figura 1.49: OllyDbg: ritorno al `main()`

Sì, il salto è stato diretto, dalla `printf()` al `main()`. Perché **RA** nello stack, non punta da qualche parte dentro `f()`, ma piuttosto nel `main()`. E `CALL 0x00FF1000` è stata l'effettiva istruzione che ha chiamato `f()`.

ARM: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

.text:0000014C	f1:
.text:0000014C 00 00 50 E3	CMP R0, #0
.text:00000150 13 0E 8F 02	ADREQ R0, aZero ; "zero\n"
.text:00000154 05 00 00 0A	BEQ loc_170
.text:00000158 01 00 50 E3	CMP R0, #1
.text:0000015C 4B 0F 8F 02	ADREQ R0, aOne ; "one\n"
.text:00000160 02 00 00 0A	BEQ loc_170
.text:00000164 02 00 50 E3	CMP R0, #2
.text:00000168 4A 0F 8F 12	ADRNE R0, aSomethingUnkno ; "something unknown\n"
.text:0000016C 4E 0F 8F 02	ADREQ R0, aTwo ; "two\n"
.text:00000170	
.text:00000170	loc_170: ; CODE XREF: f1+8
.text:00000170	; f1+14
.text:00000170 78 18 00 EA	B __2printf

Nuovamente, analizzando questo codice, non possiamo dire con certezza se originariamente nel sorgente ci fosse uno vero e proprio switch o una serie di istruzioni `if()`.

Ad ogni modo vediamo istruzioni condizionali (dette anche *predicated instructions*) come ADREQ (*Equal*) che viene eseguita solo nel caso $R0 = 0$, e carica l'indirizzo della stringa «zero\n» into R0. La successiva istruzione BEQ redirige il controllo del flusso a loc_170, se $R0 = 0$.

Un lettore attento potrebbe chiedersi se BEQ sarà attivata correttamente, dal momento che ADREQ ha riempito prima il registro R0 con un altro valore.

Sì, sarà eseguita correttamente perchè BEQ controlla i flag settati dall'istruzione CMP, e ADREQ non modifica alcun flag.

Il resto delle istruzioni ci sono già familiari. C'è solo una chiamata a printf(), alla fine, ed abbiamo già esaminato questo trucco qui (1.11.2 on page 73). A conti fatti, ci sono tre percorsi che portano alla printf().

L'ultima istruzione, CMP R0, #2, è necessaria per controllare se $a = 2$.

Se la condizione non è vera, allora ADRENE carica un puntatore alla stringa «something unknown\n» nel registro R0, poiché la variabile a è stata già confrontata 0 e 1 e siamo certi, a questo punto, che non sia uguale a tali valori. E se $R0 = 2$, il puntatore alla stringa «two\n» sarà caricato in R0 da ADREQ.

ARM: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)

.text:000000D4	f1:
.text:000000D4 10 B5	PUSH {R4,LR}
.text:000000D6 00 28	CMP R0, #0
.text:000000D8 05 D0	BEQ zero_case
.text:000000DA 01 28	CMP R0, #1
.text:000000DC 05 D0	BEQ one_case
.text:000000DE 02 28	CMP R0, #2
.text:000000E0 05 D0	BEQ two_case
.text:000000E2 91 A0	ADR R0, aSomethingUnkno ; "something unknown\n"
.text:000000E4 04 E0	B default_case
.text:000000E6	zero_case: ; CODE XREF: f1+4
.text:000000E6 95 A0	ADR R0, aZero ; "zero\n"
.text:000000E8 02 E0	B default_case
.text:000000EA	one_case: ; CODE XREF: f1+8
.text:000000EA 96 A0	ADR R0, aOne ; "one\n"
.text:000000EC 00 E0	B default_case
.text:000000EE	two_case: ; CODE XREF: f1+C
.text:000000EE 97 A0	ADR R0, aTwo ; "two\n"
.text:000000F0	default_case ; CODE XREF: f1+10
.text:000000F0	; f1+14
.text:000000F0 06 F0 7E F8	BL __2printf
.text:000000F4 10 BD	POP {R4,PC}

Come già detto in precedenza, non è possibile aggiungere predicati condizionali alla maggior parte di istruzioni in modalità Thumb, pertanto il codice Thumb qui mostrato è piuttosto simile a quello x86 CISC-style facilmente comprensibile.

ARM64: Senza ottimizzazione GCC (Linaro) 4.9

```

.LC12:
.string "zero"
.LC13:
.string "one"
.LC14:
.string "two"
.LC15:
.string "something unknown"
f12:
    stp    x29, x30, [sp, -32]!
    add    x29, sp, 0
    str    w0, [x29,28]
    ldr    w0, [x29,28]
    cmp    w0, 1
    beq    .L34
    cmp    w0, 2
    beq    .L35
    cmp    w0, wzr
    bne    .L38                ; salta alla sezione di default
    adrp   x0, .LC12           ; "zero"
    add    x0, x0, :lo12:.LC12
    bl     puts
    b      .L32
.L34:
    adrp   x0, .LC13           ; "one"
    add    x0, x0, :lo12:.LC13
    bl     puts
    b      .L32
.L35:
    adrp   x0, .LC14           ; "two"
    add    x0, x0, :lo12:.LC14
    bl     puts
    b      .L32
.L38:
    adrp   x0, .LC15           ; "something unknown"
    add    x0, x0, :lo12:.LC15
    bl     puts
    nop
.L32:
    ldp    x29, x30, [sp], 32
    ret

```

Il tipo di valore in input è *int*, perciò per memorizzarlo viene usato il registro W0 anziché l'intero registro X0.

I puntatori alle stringhe sono passati a puts () tramite una coppia di istruzioni ADRP/ADD secondo quanto già dimostrato nell'esempio «Hello, world!»: [1.5.3 on page 32](#).

ARM64: Con ottimizzazione GCC (Linaro) 4.9

```
f12:
```

```

        cmp     w0, 1
        beq     .L31
        cmp     w0, 2
        beq     .L32
        cbz     w0, .L35
; caso di default
        adrp    x0, .LC15          ; "something unknown"
        add     x0, x0, :lo12:.LC15
        b       puts
.L35:
        adrp    x0, .LC12          ; "zero"
        add     x0, x0, :lo12:.LC12
        b       puts
.L32:
        adrp    x0, .LC14          ; "two"
        add     x0, x0, :lo12:.LC14
        b       puts
.L31:
        adrp    x0, .LC13          ; "one"
        add     x0, x0, :lo12:.LC13
        b       puts

```

Codice maggiormente ottimizzato. L'istruzione CBZ (*Compare and Branch on Zero*) salta se W0 è zero. C'è anche un salto diretto a puts () invece di una chiamata, come spiegato in precedenza: [1.21.1 on page 201](#).

MIPS

Listing 1.157: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```

f:
        lui     $gp, (__gnu_local_gp >> 16)
; vale 1?
        li      $v0, 1
        beq     $a0, $v0, loc_60
        la      $gp, (__gnu_local_gp & 0xFFFF) ; branch delay slot
; vale 2?
        li      $v0, 2
        beq     $a0, $v0, loc_4C
        or      $at, $zero ; branch delay slot, NOP
; se è diverso da 0, salta:
        bnez    $a0, loc_38
        or      $at, $zero ; branch delay slot, NOP
; caso zero:
        lui     $a0, ($LC0 >> 16) # "zero"
        lw      $t9, (puts & 0xFFFF)($gp)
        or      $at, $zero ; load delay slot, NOP
        jr      $t9 ; branch delay slot, NOP
        la      $a0, ($LC0 & 0xFFFF) # "zero" ; branch delay slot
loc_38:
                                     # CODE XREF: f+1C
        lui     $a0, ($LC3 >> 16) # "something unknown"
        lw      $t9, (puts & 0xFFFF)($gp)

```

```

                                or    $at, $zero ; load delay slot, NOP
                                jr     $t9
                                la     $a0, ($LC3 & 0xFFFF) # "something unknown" ; branch
delay slot

loc_4C:                                # CODE XREF: f+14
                                lui    $a0, ($LC2 >> 16) # "two"
                                lw     $t9, (puts & 0xFFFF)($gp)
                                or     $at, $zero ; load delay slot, NOP
                                jr     $t9
                                la     $a0, ($LC2 & 0xFFFF) # "two" ; branch delay slot

loc_60:                                # CODE XREF: f+8
                                lui    $a0, ($LC1 >> 16) # "one"
                                lw     $t9, (puts & 0xFFFF)($gp)
                                or     $at, $zero ; load delay slot, NOP
                                jr     $t9
                                la     $a0, ($LC1 & 0xFFFF) # "one" ; branch delay slot

```

La funzione finisce sempre col chiamare `puts()`, e quindi qui vediamo un salto a `puts()` (JR: «Jump Register») invece di «jump and link». Abbiamo già discusso questo argomento qui: [1.21.1 on page 201](#).

Vediamo anche spesso delle istruzioni NOP dopo le istruzioni LW. Si tratta di «load delay slot»: un altro tipo di *delay slot* in MIPS.

Un'istruzione immediatamente successiva a LW potrebbe essere eseguita mentre LW carica il valore dalla memoria. Questa istruzione, comunque, non deve usare il risultato di LW.

Le moderne CPU MIPS hanno una funzionalità che consente di attendere, nel caso in cui l'istruzione successiva usi il risultato di LW, peranto questo tipo codice è piuttosto antiquato e può essere ignorato. GCC continua ad aggiungere i NOP a favore delle cpu MIPS più vecchie.

Conclusione

Uno *switch()* con un piccolo numero di casi è indistinguibile da un costrutto *if/else*, per esempio: [listato.1.21.1](#).

1.21.2 Molti casi

Se uno `statement switch()` contiene molti casi, per il compilatore non è molto conveniente emettere codice troppo lungo con un sacco di istruzioni JE/JNE.

```

#include <stdio.h>

void f (int a)
{
    switch (a)
    {
        case 0: printf ("zero\n"); break;
        case 1: printf ("one\n"); break;

```

```

    case 2: printf ("two\n"); break;
    case 3: printf ("three\n"); break;
    case 4: printf ("four\n"); break;
    default: printf ("something unknown\n"); break;
};

int main()
{
    f (2); // test
};

```

x86

Senza ottimizzazione MSVC

Con MSVC 2010 otteniamo:

Listing 1.158: MSVC 2010

```

tv64 = -4 ; dimensione = 4
_a$ = 8 ; dimensione = 4
_f PROC
    push    ebp
    mov     ebp, esp
    push    ecx
    mov     eax, DWORD PTR _a$[ebp]
    mov     DWORD PTR tv64[ebp], eax
    cmp     DWORD PTR tv64[ebp], 4
    ja      SHORT $LN1@f
    mov     ecx, DWORD PTR tv64[ebp]
    jmp     DWORD PTR $LN11@f[ecx*4]
$LN6@f:
    push    OFFSET $SG739 ; 'zero', 0aH, 00H
    call    _printf
    add     esp, 4
    jmp     SHORT $LN9@f
$LN5@f:
    push    OFFSET $SG741 ; 'one', 0aH, 00H
    call    _printf
    add     esp, 4
    jmp     SHORT $LN9@f
$LN4@f:
    push    OFFSET $SG743 ; 'two', 0aH, 00H
    call    _printf
    add     esp, 4
    jmp     SHORT $LN9@f
$LN3@f:
    push    OFFSET $SG745 ; 'three', 0aH, 00H
    call    _printf
    add     esp, 4
    jmp     SHORT $LN9@f

```

```

$LN2@f:
    push    OFFSET $SG747 ; 'four', 0aH, 00H
    call    _printf
    add     esp, 4
    jmp     SHORT $LN9@f
$LN1@f:
    push    OFFSET $SG749 ; 'something unknown', 0aH, 00H
    call    _printf
    add     esp, 4
$LN9@f:
    mov     esp, ebp
    pop     ebp
    ret     0
    npad    2 ; allinea la prossima label
$LN11@f:
    DD      $LN6@f ; 0
    DD      $LN5@f ; 1
    DD      $LN4@f ; 2
    DD      $LN3@f ; 3
    DD      $LN2@f ; 4
_f        ENDP

```

Vediamo una serie di chiamate a `printf()` con vari argomenti. Hanno tutte non solo indirizzi nella memoria del processo, ma anche etichette simboliche assegnate dal compilatore. Queste label sono anche menzionate nella tabella interna `$LN11@f`.

All'inizio della funzione, se a è maggiore di 4, il controllo del flusso è passato alla label `$LN1@f`, dove viene chiamata `printf()` con argomento `'something unknown'`.

Se invece il valore di a è minore o uguale a 4, viene moltiplicato per 4 e sommato all'indirizzo della tabella `$LN11@f`. In questo modo vengono costruiti gli indirizzi della tabella, facendo puntare esattamente all'elemento giusto per ogni caso,

Poniamo ad esempio che a sia uguale a 2. $2 * 4 = 8$ (tutti gli elementi della tabella sono indirizzi in un processo a 32-bit, perciò tutti gli elementi sono larghi 4 byte). L'indirizzo della tabella `$LN11@f + 8` corrisponde all'elemento della tabella in cui è memorizzata la label `$LN4@f`. L'istruzione `JMP` recupera quindi l'indirizzo di `$LN4@f` dalla tabella e salta.

Questa tabella è talvolta detta *jumptable* o *branch table*⁹⁶.

Successivamente la corrispondente `printf()` viene chiamata con argomento `'two'`. Letteralmente, l'istruzione `jmp DWORD PTR $LN11@f[ecx*4]` corrisponde a *salta alla DWORD che è memorizzata all'indirizzo `$LN11@f + ecx * 4`*.

`npad` ([1.2 on page 314](#)) è una macro del linguaggio assembly che allinea la prossima label in modo tale che sia memorizzata ad un indirizzo allineato a 4 byte (or a 16 byte).

Ciò è molto utile in termini di performance poiché così il processore è in grado di recuperare valori a 32-bit dalla memoria attraverso il memory bus, la cache, etc., in maniera più efficiente se è allineata.

⁹⁶L'intero metodo una volta era noto come *computed GOTO* nelle prime versioni di Fortran: [wikipedia](#). Non è molto rilevante oggi, ma che termine!

OllyDbg

Esaminiamo questo esempio con OllyDbg. Il valore di input della funzione (2) viene caricato EAX:

The screenshot shows the OllyDbg interface with the CPU window displaying assembly code for the main thread in module lot. The registers window on the right shows the EAX register containing the value 00000002. The stack window at the bottom shows the current stack frame.

Address	Hex	Dump	ASCII (ANSI - Cy)	Registers (MMX)	Stack
010B1000	55			EAX 00000002	
010B1001	8BEC			EAX 6E494714 MSUCR100.__initenv	
010B1003	51			EDX 00000000	
010B1004	8B45 08			EBX 00000000	
010B1007	8945 FC			ESP 003CFD08	
010B100A	837D FC 04			EBP 003CFD0C	
010B100E	77 5A			ESI 00000001	
010B1010	8B4D FC			EDI 010B33B8 lot,010B33B8	
010B1013	FF248D 7C100			EIP 010B1007 lot,010B1007	
010B101A	68 00300B01			C 0 ES 002B 32bit 0(FFFFFFFF)	
010B101F	FF15 00200B00			P 1 CS 0023 32bit 0(FFFFFFFF)	
010B1025	83C4 04			A 0 SS 002B 32bit 0(FFFFFFFF)	
010B1028	EB 4E			C 1 DS 002B 32bit 0(FFFFFFFF)	
010B102A	68 00300B01			S 0 FS 0053 32bit 7EFD0000(FFF)	
010B102F	FF15 00200B00			T 0 GS 002B 32bit 0(FFFFFFFF)	
010B1035	83C4 04			D 0	
010B1038	EB 3E			O 0 LastErr 00000000 ERROR_SUCCESS	
010B103A	68 00300B01			EFL 00000246 (NO,NB,E,BE,NS,PE,GE,LE)	
010B103F	FF15 00200B00			MM0 0000 0000 0000 0000	
010B1045	83C4 04			MM1 0000 0000 0000 0000	
010B1048	EB 2E			MM2 0000 0000 0000 0000	
				MM3 0000 0000 0000 0000	
				MM4 0000 0000 0000 0000	

EAX=2
Stack [003CFD08]=6E494714 (MSUCR100.__initenv)

Address	Hex	Dump	ASCII (ANSI - Cy)	Registers (MMX)	Stack
010B3000	74 65 72 6F 0A 00 00 00 6F 6E 65 0A 00 00 00 00		zero one	003CFD08 6E494714 010B100A	RETURN from lot
010B3010	74 77 6F 0A 00 00 00 00 74 68 72 65 65 0A 00 00		two three	003CFD08 00000002 003CFD0C	RETURN from lot
010B3020	66 6F 75 72 0A 00 00 00 73 6F 6D 65 74 68 69 6E		four something	003CFD08 003CFD0C 010B120E	RETURN from lot
010B3030	67 20 75 6E 68 6E 6F 77 6E 0A 00 00 FF FF FF FF		g unknown	003CFD08 00000001 003CFD0C	
010B3040	FF FF FF FF 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00			003CFD08 0034E68 003CFD0C	
010B3050	FE FF FF FF 01 00 00 00 9A E2 68 1D 65 1D 97 E2		0 bth#e#4r	003CFD08 00032948 1D541F66	
010B3060	01 00 00 00 48 28 03 00 68 4E 03 00 00 00 00 00		0 H hN	003CFD08 00000000 003CFD0C	
010B3070	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00			003CFD08 7EFD0000 003CFD0C	
010B3080	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00			003CFD08 00000000 003CFD0C	
010B3090	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00			003CFD08 00000000 003CFD0C	
010B30A0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00			003CFD08 00000000 003CFD0C	
010B30B0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00			003CFD08 00000000 003CFD0C	
010B30C0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00			003CFD08 00000000 003CFD0C	

Figura 1.50: OllyDbg: il valore di input è caricato in EAX

Il valore viene controllato, è maggiore di 4? Se no, il «default» jump non viene innescato:

CPU - main thread, module lot

Address	Hex	dump	ASCII (ANSI - Cy)
010B1000	55	PUSH EBP	
010B1001	8BEC	MOV EBP,ESP	
010B1003	51	PUSH ECX	
010B1004	8B45 08	MOV EAX,DWORD PTR SS:[EBP+8]	
010B1007	8945 FC	MOV DWORD PTR SS:[EBP-4],EAX	
010B100A	837D FC 04	CMP DWORD PTR SS:[EBP-4],4	
010B100B	77 5A	JA SHORT 010B106A	
010B1010	8B4D FC	MOV ECX,DWORD PTR SS:[EBP-4]	
010B1013	FF2480 7C100	JMP DWORD PTR DS:[ECX*4+10B107C]	
010B101A	68 00300001	PUSH OFFSET 010B3000	
010B101F	FF15 00200000	CALL DWORD PTR DS:[<&MSUCR100.printf>]	
010B1025	83C4 04	ADD ESP,4	
010B1028	EB 4E	JMP SHORT 010B1078	
010B102A	68 00300001	PUSH OFFSET 010B3000	
010B102F	FF15 00200000	CALL DWORD PTR DS:[<&MSUCR100.printf>]	
010B1035	83C4 04	ADD ESP,4	
010B1038	EB 3E	JMP SHORT 010B1078	
010B103A	68 10300001	PUSH OFFSET 010B3010	
010B103F	FF15 00200000	CALL DWORD PTR DS:[<&MSUCR100.printf>]	
010B1045	83C4 04	ADD ESP,4	
010B1048	EB 2E	JMP SHORT 010B1078	

Registers (MMX)

EAX	00000002
ECX	6E494714 MSUCR100.__initenv
EDX	00000000
EBX	00000000
ESP	003CFDA8
EBP	003CFDAC
ESI	00000001
EDI	010B33B8 lot.010B33B8
EIP	010B100E lot.010B100E
C 1	ES 002B 32bit 0(FFFFFFFF)
P 0	CS 0023 32bit 0(FFFFFFFF)
Q 1	SS 002B 32bit 0(FFFFFFFF)
Z 0	DS 002B 32bit 0(FFFFFFFF)
S 1	FS 0053 32bit 7EFDD000(FFF)
T 0	GS 002B 32bit 0(FFFFFFFF)
D 0	
O 0	LastErr 00000000 ERROR_SUCCESS
EFL	00000293 (NO,B,NE,BE,S,PO,L,LE)
MM0	0000 0000 0000 0000
MM1	0000 0000 0000 0000
MM2	0000 0000 0000 0000
MM3	0000 0000 0000 0000
MM4	0000 0000 0000 0000

Address Hex dump ASCII (ANSI - Cy)

010B3000	74 65 72 6F 0A 00 00 00 6F 6E 65 0A 00 00 00 00	serc one
010B3010	74 77 6F 0A 00 00 00 00 74 68 72 65 65 0A 00 00	two three
010B3020	66 6F 75 72 0A 00 00 00 73 6F 6D 65 74 68 69 6E	four somethin
010B3030	67 20 75 6E 68 6E 6F 77 6E 0A 00 00 FF FF FF FF	g unknown
010B3040	FF FF FF FF 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
010B3050	FE FF FF FF 01 00 00 00 9A E2 68 1D 65 1D 97 E2	0 bth#e#4t
010B3060	01 00 00 00 48 28 03 00 68 4E 03 00 00 00 00 00	0 H(hN
010B3070	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
010B3080	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
010B3090	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
010B30A0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
010B30B0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	
010B30C0	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	

Registers (MMX)

003CFDA8	00000002	0
003CFDAC	003CFDB8	0
003CFDB0	010B109A	0
003CFDB4	00000002	0
003CFDB8	003CFDFC	0
003CFDBC	010B120E	0
003CFDC0	00000001	0
003CFDC4	00034E68	hN
003CFDC8	00032848	H(
003CFDCC	1D541F66	fYt
003CFDD0	00000000	
003CFDD4	00000000	
003CFDD8	7EFDE000	ph
003CFDDC	00000000	
003CFDE0	00000000	

Jump is not taken
Dest=lot.010B106A

Figura 1.51: OllyDbg: 2 non è maggiore di 4: il salto non viene fatto

Qui vediamo una jumtable:

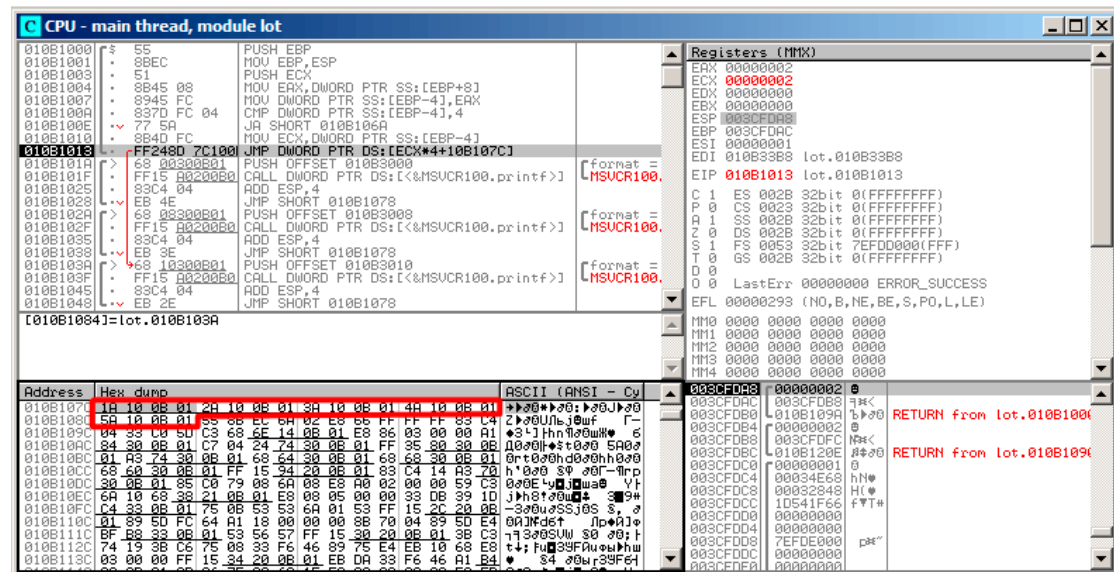


Figura 1.52: OllyDbg: calcolo dell'indirizzo di destinazione mediante jumtable

Qui abbiamo cliccato «Follow in Dump» → «Address constant», così da vedere la *jumtable* nella finestra dati. Sono 5 valori a 32-bit⁹⁷. ECX adesso è 2, quindi il terzo elemento (avente indice 2⁹⁸) della tabella. E' anche possibile cliccare su «Follow in Dump» → «Memory address» e OllyDbg mostrerà l'elemento a cui punta l'istruzione JMP. In questo caso è 0x010B103A.

⁹⁷Sono sottolineati da OllyDbg poiché sono anche FIXUPs: ?? on page ??, torneremo su questo argomento più avanti

⁹⁸Per l'indicizzazione, vedi anche: ?? on page ??

Dopo il salto ci troviamo a 0x010B103A: il codice che stampa «two» sarà ora eseguito:

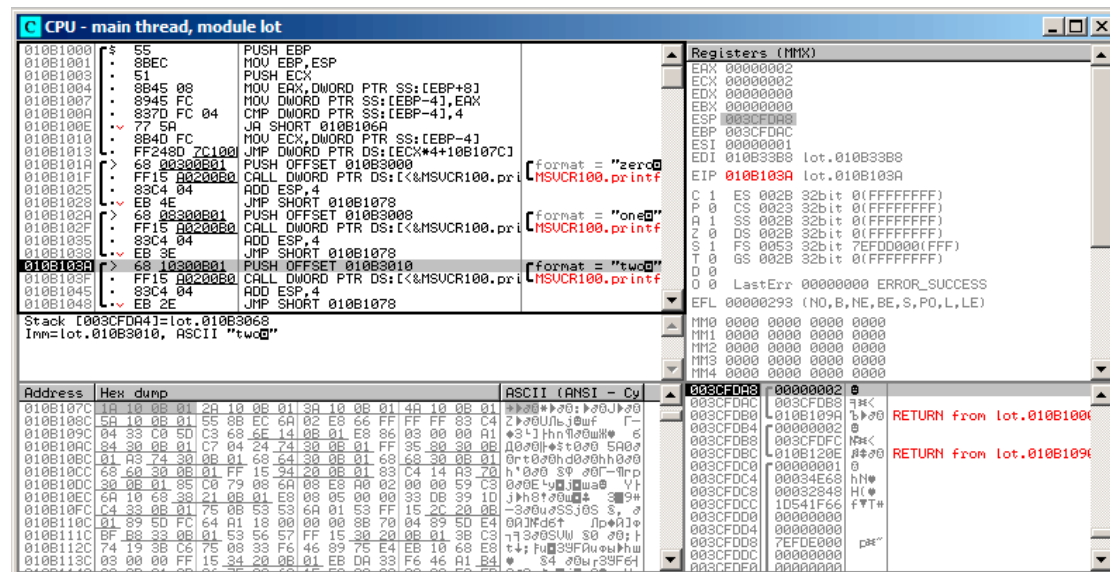


Figura 1.53: OllyDbg: ora ci troviamo alla label case:

Senza ottimizzazione GCC

Vediamo il codice generato da GCC 4.4.1:

Listing 1.159: GCC 4.4.1

```

public f
f
proc near ; CODE XREF: main+10

var_18 = dword ptr -18h
arg_0  = dword ptr  8

push    ebp
mov     ebp, esp
sub     esp, 18h
cmp     [ebp+arg_0], 4
ja      short loc_8048444
mov     eax, [ebp+arg_0]
shl     eax, 2
mov     eax, ds:off_804855C[eax]
jmp     eax

loc_80483FE: ; DATA XREF: .rodata:off_804855C
mov     [esp+18h+var_18], offset aZero ; "zero"
call    _puts
jmp     short locret_8048450

```

```

loc_804840C: ; DATA XREF: .rodata:08048560
            mov     [esp+18h+var_18], offset aOne ; "one"
            call    _puts
            jmp     short locret_8048450

loc_804841A: ; DATA XREF: .rodata:08048564
            mov     [esp+18h+var_18], offset aTwo ; "two"
            call    _puts
            jmp     short locret_8048450

loc_8048428: ; DATA XREF: .rodata:08048568
            mov     [esp+18h+var_18], offset aThree ; "three"
            call    _puts
            jmp     short locret_8048450

loc_8048436: ; DATA XREF: .rodata:0804856C
            mov     [esp+18h+var_18], offset aFour ; "four"
            call    _puts
            jmp     short locret_8048450

loc_8048444: ; CODE XREF: f+A
            mov     [esp+18h+var_18], offset aSomethingUnkno ; "something unknown"
            call    _puts

locret_8048450: ; CODE XREF: f+26
               ; f+34...
            leave
            retn
f             endp

off_804855C dd offset loc_80483FE ; DATA XREF: f+12
            dd offset loc_804840C
            dd offset loc_804841A
            dd offset loc_8048428
            dd offset loc_8048436

```

E' pressoché identico, con una leggera variazione: l'argomento `arg_0` è moltiplicato per 4 effettuando uno shift a sinistra di 2 bit (quasi identico alla moltiplicazione per 4) ([1.24.2 on page 278](#)). Successivamente l'indirizzo della label è preso dall'array `off_804855C`, memorizzato in `EAX`, e infine `JMP EAX` effettua il salto.

ARM: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

Listing 1.160: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

```

00000174                f2
00000174 05 00 50 E3      CMP     R0, #5           ; switch 5 cases
00000178 00 F1 8F 30      ADDCC   PC, PC, R0,LSL#2 ; switch jump
0000017C 0E 00 00 EA      B         default_case      ; jumptable 00000178
                default case

00000180
00000180                loc_180 ; CODE XREF: f2+4

```

```

00000180 03 00 00 EA    B    zero_case    ; jumtable 00000178 case 0

00000184
00000184          loc_184 ; CODE XREF: f2+4
00000184 04 00 00 EA    B    one_case    ; jumtable 00000178 case 1

00000188
00000188          loc_188 ; CODE XREF: f2+4
00000188 05 00 00 EA    B    two_case    ; jumtable 00000178 case 2

0000018C
0000018C          loc_18C ; CODE XREF: f2+4
0000018C 06 00 00 EA    B    three_case   ; jumtable 00000178 case 3

00000190
00000190          loc_190 ; CODE XREF: f2+4
00000190 07 00 00 EA    B    four_case   ; jumtable 00000178 case 4

00000194
00000194          zero_case ; CODE XREF: f2+4
00000194          ; f2:loc_180
00000194 EC 00 8F E2    ADR    R0, aZero    ; jumtable 00000178 case 0
00000198 06 00 00 EA    B    loc_1B8

0000019C
0000019C          one_case ; CODE XREF: f2+4
0000019C          ; f2:loc_184
0000019C EC 00 8F E2    ADR    R0, aOne    ; jumtable 00000178 case 1
000001A0 04 00 00 EA    B    loc_1B8

000001A4
000001A4          two_case ; CODE XREF: f2+4
000001A4          ; f2:loc_188
000001A4 01 0C 8F E2    ADR    R0, aTwo    ; jumtable 00000178 case 2
000001A8 02 00 00 EA    B    loc_1B8

000001AC
000001AC          three_case ; CODE XREF: f2+4
000001AC          ; f2:loc_18C
000001AC 01 0C 8F E2    ADR    R0, aThree   ; jumtable 00000178 case 3
000001B0 00 00 00 EA    B    loc_1B8

000001B4
000001B4          four_case ; CODE XREF: f2+4
000001B4          ; f2:loc_190
000001B4 01 0C 8F E2    ADR    R0, aFour    ; jumtable 00000178 case 4
000001B8
000001B8          loc_1B8 ; CODE XREF: f2+24
000001B8          ; f2+2C
000001B8 66 18 00 EA    B    __2printf

000001BC
000001BC          default_case ; CODE XREF: f2+4

```

La prima istruzione `CMP R0, #5` confronta il valore di a con 5.

Se invece $R0 < 5$ e ADDCC viene innescata, succede quanto segue:

In seguito viene aggiunto $R0 \times 4$ all'attuale valore in **PC!**, saltando quindi ad una delle istruzioni B (*Branch*) poste sotto.

La pipeline nei processori ARM funziona così: nel momento in cui ADDCC viene eseguita, il processore sta iniziando a processare l'istruzione successiva, e questo è il motivo per cui **PC!** punta a quella. Bisogna ricordarsi di ciò e tenerne conto.

Se $a = 1$, allora $PC + 8 + a * 4 = PC + 8 + 1 * 4 = PC + 12 = 0x184$ sarà scritto in **PC!**, ovvero l'indirizzo della label *loc 184*.

4 è la lunghezza delle istruzioni in modalità ARM, comprese le istruzioni B di cui ne abbiamo 5.

Ognuna di queste istruzioni B passa il controllo più avanti, a quello che era previsto nello *switch()*. Lì avviene il caricamento del puntatore alla stringa corrispondente al caso, etc.

ARM: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)

Listing 1.161: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)

000000F6	EXPORT f2
----------	-----------

⁹⁹ADD—addition

```

000000F6          f2      PUSH    {R4,LR}
000000F6 10 B5          MOVs    R3, R0
000000F8 03 00          BL      __ARM_common_switch8_thumb ; switch 6
000000FA 06 F0 69 F8    cases
                                ALIGN 2
000000FE 05          DCB 5
000000FF 04 06 08 0A 0C 10 switch_statement
                                DCB 4, 6, 8, 0xA, 0xC, 0x10 ; jump table for
                                ALIGN 2
00000105 00          zero_case ; CODE XREF: f2+4
00000106          ADR      R0, aZero ; jumtable 000000FA case 0
00000106 8D A0          B      loc_118
00000108 06 E0

0000010A          one_case ; CODE XREF: f2+4
0000010A          ADR      R0, aOne ; jumtable 000000FA case 1
0000010A 8E A0          B      loc_118
0000010C 04 E0

0000010E          two_case ; CODE XREF: f2+4
0000010E          ADR      R0, aTwo ; jumtable 000000FA case 2
0000010E 8F A0          B      loc_118
00000110 02 E0

00000112          three_case ; CODE XREF: f2+4
00000112          ADR      R0, aThree ; jumtable 000000FA case 3
00000112 90 A0          B      loc_118
00000114 00 E0

00000116          four_case ; CODE XREF: f2+4
00000116          ADR      R0, aFour ; jumtable 000000FA case 4
00000116 91 A0

00000118          loc_118 ; CODE XREF: f2+12
00000118          ; f2+16
00000118 06 F0 6A F8          BL      __2printf
0000011C 10 BD          POP     {R4,PC}

0000011E          default_case ; CODE XREF: f2+4
0000011E          ADR      R0, aSomethingUnkno ; jumtable
0000011E 82 A0          B      loc_118
00000120 FA E7      000000FA default case

000061D0          EXPORT __ARM_common_switch8_thumb
000061D0          __ARM_common_switch8_thumb ; CODE XREF:
example6_f2+4
000061D0 78 47          BX      PC

000061D2 00 00          ALIGN 4
000061D2          ; End of function __ARM_common_switch8_thumb
000061D2

```

```

000061D4      __32__ARM_common_switch8_thumb ; CODE XREF:
               ARM_common_switch8_thumb
000061D4 01 C0 5E E5      LDRB    R12, [LR,#-1]
000061D8 0C 00 53 E1      CMP     R3, R12
000061DC 0C 30 DE 27      LDRCSB  R3, [LR,R12]
000061E0 03 30 DE 37      LDRCCB  R3, [LR,R3]
000061E4 83 C0 8E E0      ADD     R12, LR, R3,LSL#1
000061E8 1C FF 2F E1      BX      R12
000061E8      ; End of function __32__ARM_common_switch8_thumb

```

Non possiamo essere certi che tutte le istruzioni in modalità Thumb e Thumb-2 siano della stessa lunghezza. Si può dire che in queste modalità le istruzioni hanno lunghezza variabile, proprio come in x86.

E' stata aggiunta una speciale tabella che contiene informazioni su quanti casi sono previsti (escluso il default-case), ed un offset per ciascuno di essi, con una label a cui deve essere passato il controllo per il caso corrispondente.

E' anche presente una funzione speciale per gestire la tabella e passare il controllo, chiamata `__ARM_common_switch8_thumb`. Inizia con l'istruzione `BX PC`, la cui funzione è quella di mettere il processore in ARM-mode. Subito dopo c'è la funzione per il processamento della tabella.

E' troppo avanzata per essere analizzata adesso, e per il momento la saltiamo.

E' interessante notare che la funzione usa il registro `LR` come puntatore alla tabella.

Infatti, dopo la chiamata a questa funzione, `LR` contiene l'indirizzo subito dopo l'istruzione

`BL __ARM_common_switch8_thumb`, dove inizia appunto la tabella.

Vale anche la pena notare che il codice è generato come una funzione separata, così che possa essere riutilizzata, e il compilatore debba generare lo stesso codice per ogni istruzione `switch()`.

IDA ha correttamente capito che si tratta di una funzione di servizio e di una tabella, ed ha aggiunto i commenti alle label come `jumptable 000000FA case 0`.

MIPS

Listing 1.162: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```

f:
    lui    $gp, (__gnu_local_gp >> 16)
; se il valore in input è minore di 5, salta a loc_24:
    sltiu  $v0, $a0, 5
    bnez   $v0, loc_24
    la     $gp, (__gnu_local_gp & 0xFFFF) ; branch delay slot
; valore in input è maggiore o uguale a 5.
; stampa "something unknown" e termina:
    lui    $a0, ($LC5 >> 16) # "something unknown"
    lw     $t9, (puts & 0xFFFF)($gp)
    or     $at, $zero ; NOP

```

```

        jr      $t9
        la      $a0, ($LC5 & 0xFFFF) # "something unknown" ; branch
delay slot

loc_24:                                     # CODE XREF: f+8
; carica l'indirizzo della jumtable
; LA è pseudoistruzione, infatti ci sono LUI e ADDIU qui:
        la      $v0, off_120
; moltiplica il valore di input per 4:
        sll     $a0, 2
; somma il valore moltiplicato e l' indirizzo della jumtable:
        addu    $a0, $v0, $a0
; carica un elemento dalla jumtable:
        lw      $v0, 0($a0)
        or      $at, $zero ; NOP
; salta all' indirizzo che c'è nella jumtable:
        jr      $v0
        or      $at, $zero ; branch delay slot, NOP

sub_44:                                     # DATA XREF: .rodata:0000012C
; stampa "three" e termina
        lui     $a0, ($LC3 >> 16) # "three"
        lw      $t9, (puts & 0xFFFF)($gp)
        or      $at, $zero ; NOP
        jr      $t9
        la      $a0, ($LC3 & 0xFFFF) # "three" ; branch delay slot

sub_58:                                     # DATA XREF: .rodata:00000130
; stampa "four" e termina
        lui     $a0, ($LC4 >> 16) # "four"
        lw      $t9, (puts & 0xFFFF)($gp)
        or      $at, $zero ; NOP
        jr      $t9
        la      $a0, ($LC4 & 0xFFFF) # "four" ; branch delay slot

sub_6C:                                     # DATA XREF: .rodata:off_120
; stampa "zero" e termina
        lui     $a0, ($LC0 >> 16) # "zero"
        lw      $t9, (puts & 0xFFFF)($gp)
        or      $at, $zero ; NOP
        jr      $t9
        la      $a0, ($LC0 & 0xFFFF) # "zero" ; branch delay slot

sub_80:                                     # DATA XREF: .rodata:00000124
; stampa "one" e termina
        lui     $a0, ($LC1 >> 16) # "one"
        lw      $t9, (puts & 0xFFFF)($gp)
        or      $at, $zero ; NOP
        jr      $t9
        la      $a0, ($LC1 & 0xFFFF) # "one" ; branch delay slot

sub_94:                                     # DATA XREF: .rodata:00000128
; stampa "two" e termina
        lui     $a0, ($LC2 >> 16) # "two"

```

```

        lw      $t9, (puts & 0xFFFF)($gp)
        or      $at, $zero ; NOP
        jr      $t9
        la      $a0, ($LC2 & 0xFFFF) # "two" ; branch delay slot

; può essere inserita nella sezione .rodata:
off_120:      .word sub_6C
              .word sub_80
              .word sub_94
              .word sub_44
              .word sub_58

```

La nuova istruzione che incontriamo è SLTIU («Set on Less Than Immediate Unsigned»).

E' uguale a SLTU («Set on Less Than Unsigned»), e la «l» sta per «immediate», e prevede cioè che un valore sia specificato nell'istruzione stessa.

BNEZ is «Branch if Not Equal to Zero».

Il codice è molto simile a quello di altre [ISA](#). SLL («Shift Word Left Logical») moltiplica per 4.

MIPS è una CPU a 32-bit, e tutti gli indirizzi contenuti nella *jumptable* sono quindi a 32-bit.

Conclusione

Stuttura approssimativa di *switch()*:

Listing 1.163: x86

```

MOV REG, input
CMP REG, 4 ; numero massimo di casi
JA default
SHL REG, 2 ; trova l'elemento nella tabella. Shift di 3 bit in x64.
MOV REG, jump_table[REG]
JMP REG

case1:
    ; gestione del caso
    JMP exit
case2:
    ; gestione del caso
    JMP exit
case3:
    ; gestione del caso
    JMP exit
case4:
    ; gestione del caso
    JMP exit
case5:
    ; gestione del caso
    JMP exit

```



```

default:
    ...
exit:
    ....

jump_table dd case1
           dd case2
           dd case3
           dd case4
           dd case5

```

Il salto agli indirizzi nella tabella di jump può anche essere implementato usando questa istruzione:

JMP jump_table[REG*4]. oppure JMP jump_table[REG*8] in x64.

Una *jump table* è semplicemente un array di puntatori, come quello descritto più avanti: ?? on page ??.

1.21.3 Ancora più istruzioni case in un unico blocco

Ecco un costrutto molto diffuso: molti casi in un singolo blocco:

```

#include <stdio.h>

void f(int a)
{
    switch (a)
    {
        case 1:
        case 2:
        case 7:
        case 10:
            printf ("1, 2, 7, 10\n");
            break;

        case 3:
        case 4:
        case 5:
        case 6:
            printf ("3, 4, 5\n");
            break;

        case 8:
        case 9:
        case 20:
        case 21:
            printf ("8, 9, 21\n");
            break;

        case 22:
            printf ("22\n");
            break;
    }
}

```

```

        default:
            printf ("default\n");
            break;
    };
};

int main()
{
    f(4);
};

```

Generare un blocco per ciascun caso possibile risulta poco efficiente, perciò solitamente quello che viene fatto è generare ogni blocco più una sorta di smistatore (dispatcher).

MSVC

Listing 1.164: Con ottimizzazione MSVC 2010

```

1  $SG2798 DB      '1, 2, 7, 10', 0aH, 00H
2  $SG2800 DB      '3, 4, 5', 0aH, 00H
3  $SG2802 DB      '8, 9, 21', 0aH, 00H
4  $SG2804 DB      '22', 0aH, 00H
5  $SG2806 DB      'default', 0aH, 00H
6
7  _a$ = 8
8  _f      PROC
9          mov     eax, DWORD PTR _a$[esp-4]
10         dec     eax
11         cmp     eax, 21
12         ja      SHORT $LN1@f
13         movzx   eax, BYTE PTR $LN10@f[eax]
14         jmp     DWORD PTR $LN11@f[eax*4]
15 $LN5@f:
16         mov     DWORD PTR _a$[esp-4], OFFSET $SG2798 ; '1, 2, 7, 10'
17         jmp     DWORD PTR __imp__printf
18 $LN4@f:
19         mov     DWORD PTR _a$[esp-4], OFFSET $SG2800 ; '3, 4, 5'
20         jmp     DWORD PTR __imp__printf
21 $LN3@f:
22         mov     DWORD PTR _a$[esp-4], OFFSET $SG2802 ; '8, 9, 21'
23         jmp     DWORD PTR __imp__printf
24 $LN2@f:
25         mov     DWORD PTR _a$[esp-4], OFFSET $SG2804 ; '22'
26         jmp     DWORD PTR __imp__printf
27 $LN1@f:
28         mov     DWORD PTR _a$[esp-4], OFFSET $SG2806 ; 'default'
29         jmp     DWORD PTR __imp__printf
30         npad    2 ; allinea la tabella $LN11@f ad un margine di 16 byte
31 $LN11@f:
32         DD      $LN5@f ; stampa '1, 2, 7, 10'
33         DD      $LN4@f ; stampa '3, 4, 5'
34         DD      $LN3@f ; stampa '8, 9, 21'

```

```

35      DD      $LN2@f ; stampa '22'
36      DD      $LN1@f ; stampa 'default'
37 $LN10@f:
38      DB      0 ; a=1
39      DB      0 ; a=2
40      DB      1 ; a=3
41      DB      1 ; a=4
42      DB      1 ; a=5
43      DB      1 ; a=6
44      DB      0 ; a=7
45      DB      2 ; a=8
46      DB      2 ; a=9
47      DB      0 ; a=10
48      DB      4 ; a=11
49      DB      4 ; a=12
50      DB      4 ; a=13
51      DB      4 ; a=14
52      DB      4 ; a=15
53      DB      4 ; a=16
54      DB      4 ; a=17
55      DB      4 ; a=18
56      DB      4 ; a=19
57      DB      2 ; a=20
58      DB      2 ; a=21
59      DB      3 ; a=22
60 _f      ENDP

```

Notiamo due tabelle: la prima, (\$LN10@f), è una tabella di indici. La seconda, (\$LN11@f), è un array di puntatori ai blocchi.

Per cominciare, il valore di input è usato come indice nella tabella di indici (riga 13).

Ecco una piccola legenda di valori in questa tabella: 0 è il blocco relativo al primo case (per i valori 1, 2, 7, 10), 1 al secondo (per i valori 3, 4, 5), 2 al terzo (per i valori 8, 9, 21), 3 al quarto (per i valori 22), 4 è relativo al blocco default.

Da qui otteniamo un indice per la seconda tabella di puntatori al codice, e vi saltiamo (riga 14).

Vale anche la pena notare che non c'è alcun caso per il valore 0 in input.

Per questo motivo vediamo l'istruzione DEC a riga 10, e la tabella inizia da $a = 1$, non c'è bisogno di allocare un elemento nella tabella per $a = 0$.

Questo è un pattern molto diffuso.

Perché è economico? Perché non è possibile avere lo stesso risultato con le tecniche viste prima ([1.21.2 on page 220](#)), solo con una tabella di puntatori ai blocchi? La risposta sta nel fatto che gli elementi nella tabella di indici sono di 8-bit, dunque è tutto più compatto.

GCC

GCC GCC utilizza la tecnica già vista ([1.21.2 on page 220](#)), usando solo una tabella di puntatori.

ARM64: Con ottimizzazione GCC 4.9.1

Non c'è codice da eseguire se il valore in input è 0, perciò GCC prova a rendere la jump table più compatta iniziando da 1 come valore di input.

GCC 4.9.1 per ARM64 usa un trucco ancora migliore. Riesce a codificare tutti gli offset con byte (8-bit).

Ricordiamoci che tutte le istruzioni ARM64 sono lunghe 4 byte.

GCC sfrutta il fatto che tutti gli offset nel nostro piccolo esempio si trovano molto vicini tra di loro. In questo modo la jump table consiste di singoli byte.

Listing 1.165: Con ottimizzazione GCC 4.9.1 ARM64

```
f14:
; valore di input in W0
    sub    w0, w0, #1
    cmp    w0, 21
; salta se è minore o uguale (unsigned):
    bls    .L9
.L2:
; stampa "default":
    adrp   x0, .LC4
    add    x0, x0, :lo12:LC4
    b      puts
.L9:
; carica l' indirizzo della jump table in X1:
    adrp   x1, .L4
    add    x1, x1, :lo12:L4
; W0=input_value-1
; carica un byte dalla tabella:
    ldrb   w0, [x1,w0,uxtw]
; carica l'indirizzo della label Lrtx:
    adr    x1, .Lrtx4
; moltiplica l' elemento della tabella per 4(con uno shift di 2 bit a
    sinistra) e aggiungi (o sottrai) all' indirizzo di Lrtx:
    add    x0, x1, w0, sxtb #2
; salta all' indirizzo calcolato:
    br     x0
; questa label sta puntando nel segmento di codice (text):
.Lrtx4:
    .section      .rodata
; tutto dopo lo statement ".section" è allocato nel segmento read-only data
(rodata):
.L4:
    .byte     (.L3 - .Lrtx4) / 4      ; caso 1
    .byte     (.L3 - .Lrtx4) / 4      ; caso 2
    .byte     (.L5 - .Lrtx4) / 4      ; caso 3
    .byte     (.L5 - .Lrtx4) / 4      ; caso 4
```

```

    .byte    (.L5 - .Lrtx4) / 4      ; caso 5
    .byte    (.L5 - .Lrtx4) / 4      ; caso 6
    .byte    (.L3 - .Lrtx4) / 4      ; caso 7
    .byte    (.L6 - .Lrtx4) / 4      ; caso 8
    .byte    (.L6 - .Lrtx4) / 4      ; caso 9
    .byte    (.L3 - .Lrtx4) / 4      ; caso 10
    .byte    (.L2 - .Lrtx4) / 4      ; caso 11
    .byte    (.L2 - .Lrtx4) / 4      ; caso 12
    .byte    (.L2 - .Lrtx4) / 4      ; caso 13
    .byte    (.L2 - .Lrtx4) / 4      ; caso 14
    .byte    (.L2 - .Lrtx4) / 4      ; caso 15
    .byte    (.L2 - .Lrtx4) / 4      ; caso 16
    .byte    (.L2 - .Lrtx4) / 4      ; caso 17
    .byte    (.L2 - .Lrtx4) / 4      ; caso 18
    .byte    (.L2 - .Lrtx4) / 4      ; caso 19
    .byte    (.L6 - .Lrtx4) / 4      ; caso 20
    .byte    (.L6 - .Lrtx4) / 4      ; caso 21
    .byte    (.L7 - .Lrtx4) / 4      ; caso 22
    .text
; tutto dopo lo statement ".text" è allocato nel segmento di codice (text):
.L7:
; stampa "22"
    adrp     x0, .LC3
    add      x0, x0, :lo12:LC3
    b        puts
.L6:
; stampa "8, 9, 21"
    adrp     x0, .LC2
    add      x0, x0, :lo12:LC2
    b        puts
.L5:
; stampa "3, 4, 5"
    adrp     x0, .LC1
    add      x0, x0, :lo12:LC1
    b        puts
.L3:
; stampa "1, 2, 7, 10"
    adrp     x0, .LC0
    add      x0, x0, :lo12:LC0
    b        puts
.LC0:
    .string  "1, 2, 7, 10"
.LC1:
    .string  "3, 4, 5"
.LC2:
    .string  "8, 9, 21"
.LC3:
    .string  "22"
.LC4:
    .string  "default"

```

Compiliamo questo esempio in un file oggetto e apriamolo con [IDA](#). Questa è la jump table:

Listing 1.166: jumtable in IDA

```

.rodata:0000000000000064      AREA .rodata, DATA, READONLY
.rodata:0000000000000064      ; ORG 0x64
.rodata:0000000000000064 $d   DCB     9      ; case 1
.rodata:0000000000000065      DCB     9      ; case 2
.rodata:0000000000000066      DCB     6      ; case 3
.rodata:0000000000000067      DCB     6      ; case 4
.rodata:0000000000000068      DCB     6      ; case 5
.rodata:0000000000000069      DCB     6      ; case 6
.rodata:000000000000006A      DCB     9      ; case 7
.rodata:000000000000006B      DCB     3      ; case 8
.rodata:000000000000006C      DCB     3      ; case 9
.rodata:000000000000006D      DCB     9      ; case 10
.rodata:000000000000006E      DCB 0xF7      ; case 11
.rodata:000000000000006F      DCB 0xF7      ; case 12
.rodata:0000000000000070      DCB 0xF7      ; case 13
.rodata:0000000000000071      DCB 0xF7      ; case 14
.rodata:0000000000000072      DCB 0xF7      ; case 15
.rodata:0000000000000073      DCB 0xF7      ; case 16
.rodata:0000000000000074      DCB 0xF7      ; case 17
.rodata:0000000000000075      DCB 0xF7      ; case 18
.rodata:0000000000000076      DCB 0xF7      ; case 19
.rodata:0000000000000077      DCB     3      ; case 20
.rodata:0000000000000078      DCB     3      ; case 21
.rodata:0000000000000079      DCB     0      ; case 22
.rodata:000000000000007B      ; .rodata ends

```

Riassumendo, nel caso 1, 9 viene moltiplicato per 4 e aggiunto all'indirizzo della label Lrtx4. Nel caso 22, 0 viene moltiplicato per 4, risultando 0.

Subito dopo la label Lrtx4 si trova label L7, dove c'è il codice che stampa «22».

Non c'è alcuna jump table nel code segment, è allocata in una sezione .rodata separata (non vi è alcun motivo particolare per cui sarebbe necessario metterla nella sezione del codice).

Ci sono anche byte negativi (0xF7), usati per saltare indietro al codice che stampa la stringa «default» (a .L2).

1.21.4 Fall-through

Un altro uso diffuso dell'operatore switch() è il cosiddetto «fallthrough». Ecco un semplice esempio ¹⁰⁰:

```

1 bool is_whitespace(char c) {
2     switch (c) {
3         case ' ': // fallthrough
4         case '\t': // fallthrough
5         case '\r': // fallthrough
6         case '\n':

```

¹⁰⁰Preso da https://github.com/azonalon/prgraas/blob/master/progllib/lecture_examples/is_whitespace.c

```

7         return true;
8     default: // not whitespace
9         return false;
10    }
11 }

```

Uno leggermente più difficile, dal kernel di Linux ¹⁰¹:

```

1 char nco1, nco2;
2
3 void f(int if_freq_khz)
4 {
5
6     switch (if_freq_khz) {
7     default:
8         printf("IF=%d KHz is not supported, 3250 assumed\n",
9             if_freq_khz);
10        /* fallthrough */
11        case 3250: /* 3.25Mhz */
12            nco1 = 0x34;
13            nco2 = 0x00;
14            break;
15        case 3500: /* 3.50Mhz */
16            nco1 = 0x38;
17            nco2 = 0x00;
18            break;
19        case 4000: /* 4.00Mhz */
20            nco1 = 0x40;
21            nco2 = 0x00;
22            break;
23        case 5000: /* 5.00Mhz */
24            nco1 = 0x50;
25            nco2 = 0x00;
26            break;
27        case 5380: /* 5.38Mhz */
28            nco1 = 0x56;
29            nco2 = 0x14;
30            break;
31    };

```

Listing 1.167: Optimizing GCC 5.4.0 x86

```

1 .LC0:
2     .string "IF=%d KHz is not supported, 3250 assumed\n"
3 f:
4     sub     esp, 12
5     mov     eax, DWORD PTR [esp+16]
6     cmp     eax, 4000
7     je      .L3
8     jg      .L4

```

¹⁰¹Preso da <https://github.com/torvalds/linux/blob/master/drivers/media/dvb-frontends/lgdt3306a.c>

```

9      cmp     eax, 3250
10     je      .L5
11     cmp     eax, 3500
12     jne     .L2
13     mov     BYTE PTR nco1, 56
14     mov     BYTE PTR nco2, 0
15     add     esp, 12
16     ret
17 .L4:
18     cmp     eax, 5000
19     je      .L7
20     cmp     eax, 5380
21     jne     .L2
22     mov     BYTE PTR nco1, 86
23     mov     BYTE PTR nco2, 20
24     add     esp, 12
25     ret
26 .L2:
27     sub     esp, 8
28     push    eax
29     push    OFFSET FLAT:.LC0
30     call    printf
31     add     esp, 16
32 .L5:
33     mov     BYTE PTR nco1, 52
34     mov     BYTE PTR nco2, 0
35     add     esp, 12
36     ret
37 .L3:
38     mov     BYTE PTR nco1, 64
39     mov     BYTE PTR nco2, 0
40     add     esp, 12
41     ret
42 .L7:
43     mov     BYTE PTR nco1, 80
44     mov     BYTE PTR nco2, 0
45     add     esp, 12
46     ret

```

Possiamo arrivare alla label `.L5` se all'input della funzione viene dato il valore 3250. Ma si può anche giungere allo stesso punto da un altro percorso: notiamo che non ci sono jump tra la chiamata a `printf()` e la label `.L5`.

Questo spiega facilmente perchè i costrutti con *switch()* sono spesso fonte di bug: è sufficiente dimenticare un *break* per trasformare il costrutto *switch()* in un *fallthrough*, in cui vengono eseguiti più blocchi invece di uno solo.

1.21.5 Esercizi

Esercizio#1

E' possibile riscrivere l'esempio C da [1.21.2 on page 214](#) in modo tale che il compilatore riesca a produrre codice ancora più breve e che funzioni allo stesso modo.

Prova a farlo.

1.22 Cicli

1.22.1 Semplice esempio

x86

Nell' instruction set x86, c'è una speciale istruzione di L00P per controllare il valore nel registro ECX e se non è 0, [decrementa](#) ECX e passa il controllo del flusso alla label nell' operando di L00P. Probabilmente questa istruzione non è molto conveniente, e non ci sono moderni compilatori che la inseriscono automaticamente. Di conseguenza, se la vedete da qualche parte, probabilmente quella parte di codice assembly è stata scritta a mano.

In C/C++ i cicli sono solitamente costruiti usando le istruzioni `for()`, `while()` o `do/while()`.

Iniziamo con `for()`.

Questa istruzione definisce l'inizializzazione del ciclo (imposta un contatore di cicli ad un valore iniziale), la condizione di ciclo (il contatore è maggiore di un valore limite?), cosa viene eseguito ad ogni iterazione ([incrementa/decrementa](#) il contatore) e ovviamente il corpo del ciclo.

```
for (inizializzazione; condizione; ad ogni iterazione)
{
    corpo_ciclo;
}
```

Anche il codice generato è composto da quattro parti.

Iniziamo con un semplice esempio:

```
#include <stdio.h>

void printing_function(int i)
{
    printf ("f(%d)\n", i);
};

int main()
{
    int i;

    for (i=2; i<10; i++)
        printing_function(i);

    return 0;
};
```

Il risultato (MSVC 2010):

Listing 1.168: MSVC 2010

```

_i$ = -4
_main PROC
    push    ebp
    mov     ebp, esp
    push    ecx
    mov     DWORD PTR _i$[ebp], 2    ; inizializzazione ciclo
    jmp     SHORT $LN3@main
$LN2@main:
    mov     eax, DWORD PTR _i$[ebp] ; qui c'è ciò che facciamo dopo ogni
iterazione:
    add     eax, 1                    ; aggiungi 1 al valore (i)
    mov     DWORD PTR _i$[ebp], eax
$LN3@main:
    cmp     DWORD PTR _i$[ebp], 10   ; questa condizione è controllata prima di
ogni iterazione
    jge     SHORT $LN1@main          ; se (i) è maggiore o uguale a 10, il
ciclo termina
    mov     ecx, DWORD PTR _i$[ebp] ; corpo del ciclo: call
printing_function(i)
    push    ecx
    call    _printing_function
    add     esp, 4
    jmp     SHORT $LN2@main          ; salta all' inizio del ciclo
$LN1@main:
                                ; fine del ciclo
    xor     eax, eax
    mov     esp, ebp
    pop     ebp
    ret     0
_main     ENDP

```

Come possiamo vedere, nulla di speciale.

GCC 4.4.1 emette quasi lo stesso codice, con una sottile differenza:

Listing 1.169: GCC 4.4.1

```

main          proc near

var_20        = dword ptr -20h
var_4         = dword ptr -4

                push    ebp
                mov     ebp, esp
                and     esp, 0FFFFFFF0h
                sub     esp, 20h
                mov     [esp+20h+var_4], 2    ; inizializzazione (i)
                jmp     short loc_8048476

loc_8048465:
                mov     eax, [esp+20h+var_4]
                mov     [esp+20h+var_20], eax
                call    printing_function
                add     [esp+20h+var_4], 1    ; incrementa (i)

```

```

loc_8048476:
        cmp     [esp+20h+var_4], 9
        jle     short loc_8048465    ; se i<=9, continua il ciclo
        mov     eax, 0
        leave
        retn
main     endp

```

Ora vediamo cosa otteniamo con l'ottimizzazione impostata su (/Ox):

Listing 1.170: Con ottimizzazione MSVC

```

_main    PROC
        push    esi
        mov     esi, 2
$LL3@main:
        push    esi
        call    _printing_function
        inc     esi
        add     esp, 4
        cmp     esi, 10             ; 0000000aH
        jl      SHORT $LL3@main
        xor     eax, eax
        pop     esi
        ret     0
_main    ENDP

```

Quello che abbiamo è che lo spazio per la variabile *i* non è più allocato nello stack, ma viene utilizzato un registro, ESI. Questo è possibile nelle piccole funzioni dove non ci sono molte variabili locali.

Una cosa importante è che la funzione *f()* non deve cambiare il valore in ESI. Il nostro compilatore c'è lo assicura. E se il compilatore decide di usare il registro ESI anche nella funzione *f()*, il suo valore viene salvato durante il prologo della funzione e ripristinato durante l'epilogo della funzione, similmente al nostro esempio: notare PUSH ESI/POP ESI all'inizio e fine della funzione.

Proviamo GCC 4.4.1 con la massima ottimizzazione impostata (opzione -O3):

Listing 1.171: Con ottimizzazione GCC 4.4.1

```

main     proc near
var_10   = dword ptr -10h

        push    ebp
        mov     ebp, esp
        and     esp, 0FFFFFF0h
        sub     esp, 10h
        mov     [esp+10h+var_10], 2
        call    printing_function
        mov     [esp+10h+var_10], 3
        call    printing_function
        mov     [esp+10h+var_10], 4

```

```

        call    printing_function
        mov     [esp+10h+var_10], 5
        call    printing_function
        mov     [esp+10h+var_10], 6
        call    printing_function
        mov     [esp+10h+var_10], 7
        call    printing_function
        mov     [esp+10h+var_10], 8
        call    printing_function
        mov     [esp+10h+var_10], 9
        call    printing_function
        xor     eax, eax
        leave
        retn
main     endp

```

Huh, GCC ha appena "srotolato" il nostro ciclo.

Srotolamento del ciclo è vantaggioso nel caso in cui non ci siano molte iterazioni, perchè possiamo ridurre il tempo di esecuzione rimuovendo tutte le istruzioni di supporto ai cicli. Dall' altro lato, il codice risultante è ovviamente maggiore.

Srotolare grossi cicli non è raccomandato al giorno d'oggi, perchè grosse funzioni possono richiedere un ingombro della cache maggiore¹⁰².

OK, aumentiamo a 100 il massimo valore della variabile *i* e proviamo nuovamente. GCC fa:

Listing 1.172: GCC

```

main      public main
          proc near

var_20    = dword ptr -20h

          push    ebp
          mov     ebp, esp
          and     esp, 0FFFFFFF0h
          push    ebx
          mov     ebx, 2      ; i=2
          sub     esp, 1Ch

; allinea la label loc_80484D0 (inizio del corpo del ciclo) con un bordo di
; 16-byte:
          nop

loc_80484D0:
; passa (i) come primo argomento a printing_function():
          mov     [esp+20h+var_20], ebx
          add     ebx, 1      ; i++
          call    printing_function

```

¹⁰²Un ottimo articolo a riguardo: [Ulrich Drepper, *What Every Programmer Should Know About Memory*, (2007)]¹⁰³. Qui ci sono altre raccomandazioni da Intel riguardo lo srotolamento dei cicli: [Intel® 64 and IA-32 Architectures Optimization Reference Manual, (2014)3.4.1.7].

	<pre>cmp ebx, 64h ; i==100? jnz short loc_80484D0 ; altrimenti, continua add esp, 1Ch xor eax, eax ; ritorna 0 pop ebx mov esp, ebp pop ebp retn main endp</pre>
--	---

E' abbastanza simile a quello che produce MSVC 2010 con ottimizzazione (/Ox), con l'eccezione che il registro EBX è allocato per la variabile *i*.

GCC è sicuro che questo registro non verrà modificato nella funzione `f()` e nel caso, verrà salvato durante il prologo della funzione e verrà ripristinato durante l'epilogo, proprio come in questo caso nella funzione `main()`.

x86: OllyDbg

Compiliamo il nostro esempio con MSVC 2010 con le opzioni /Ox e /Ob0, carichiamolo poi in OllyDbg.

Sembrerebbe che OllyDbg sia in grado di rilevare dei semplici cicli e ce li mostra tra parentesi quadre, per convenienza:

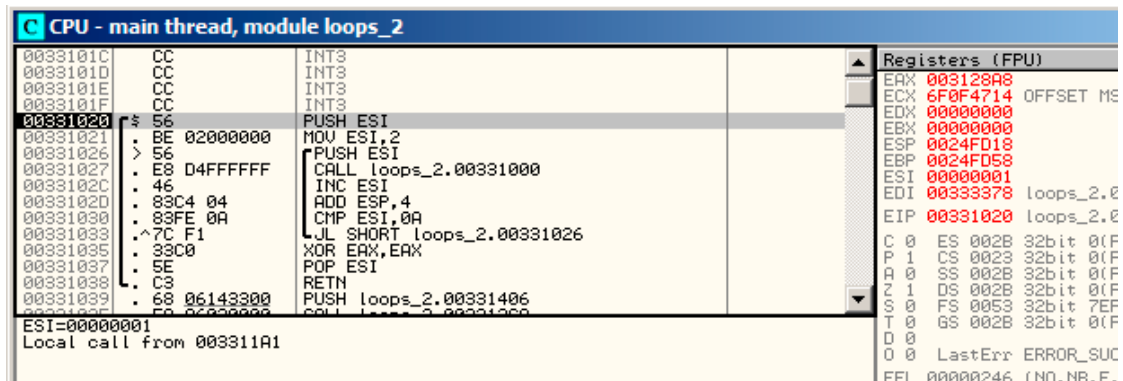


Figura 1.54: OllyDbg: inizio main()

Tracciando (F8 — step over) vediamo ESI **incrementare**. Qui, per esempio, $ESI = i = 6$:

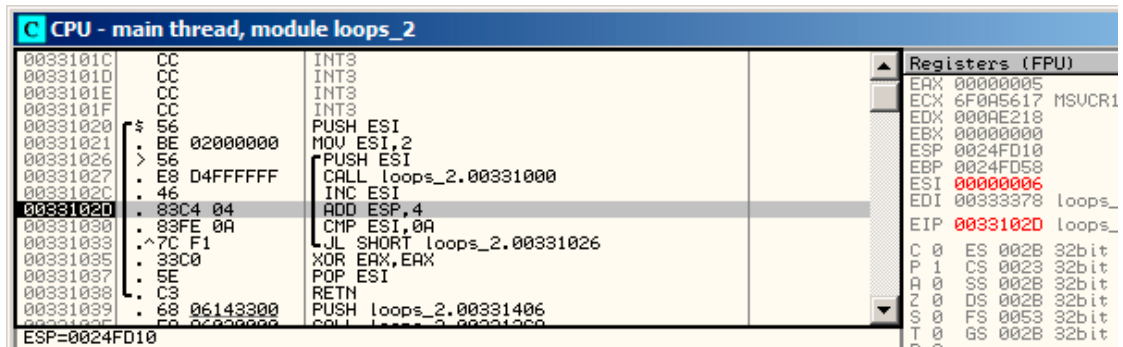
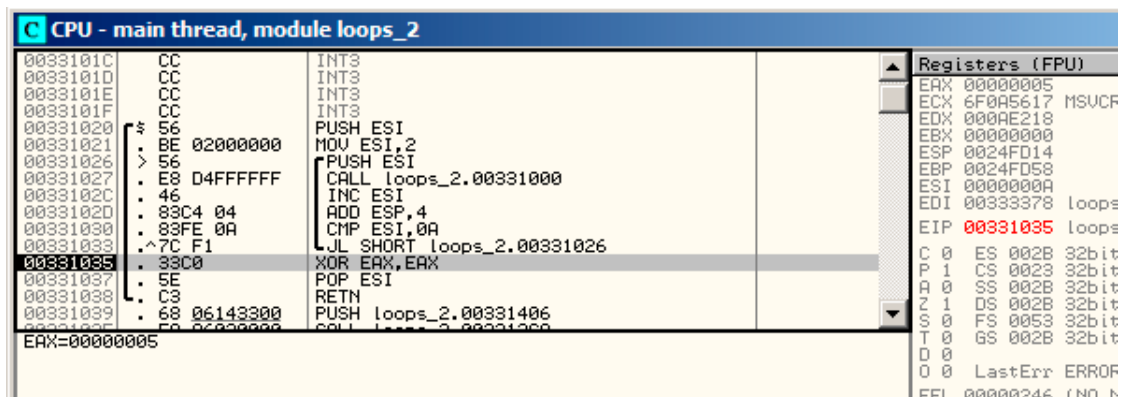


Figura 1.55: OllyDbg: corpo del ciclo appena eseguito con $i = 6$

9 è l'ultimo valore del ciclo. Motivo per il quale, JL non si attiva dopo **incrementa** e la funzione concluderà:

Figura 1.56: OllyDbg: *ESI* = 10, fine ciclo**x86: tracer**

Come possiamo vedere, non è molto comodo tracciare manualmente nel debugger. Questa è la ragione per cui proveremo ad usare **Italian text placeholder**.

Apriamo l'esempio compilato in **IDA**, cerchiamo l'indirizzo dell'istruzione `PUSH ESI` (che passa l'unico argomento a `f()`), che è `0x401026` in questo caso ed eseguiamo il **Italian text placeholder**:

```
tracer.exe -l:loops_2.exe bpx=loops_2.exe!0x00401026
```

BPX imposta solamente un breakpoint all'indirizzo e **Italian text placeholder** stamperà poi lo stato dei registri.

Questo è ciò che vediamo in `tracer.log`:

```

PID=12884|New process loops_2.exe
(0) loops_2.exe!0x401026
EAX=0x000a328c8 EBX=0x00000000 ECX=0x6f0f4714 EDX=0x00000000
ESI=0x00000002 EDI=0x00333378 EBP=0x0024fbfc ESP=0x0024fbb8
EIP=0x00331026
FLAGS=PF ZF IF
(0) loops_2.exe!0x401026
EAX=0x00000005 EBX=0x00000000 ECX=0x6f0a5617 EDX=0x000ee188
ESI=0x00000003 EDI=0x00333378 EBP=0x0024fbfc ESP=0x0024fbb8
EIP=0x00331026
FLAGS=CF PF AF SF IF
(0) loops_2.exe!0x401026
EAX=0x00000005 EBX=0x00000000 ECX=0x6f0a5617 EDX=0x000ee188
ESI=0x00000004 EDI=0x00333378 EBP=0x0024fbfc ESP=0x0024fbb8
EIP=0x00331026
FLAGS=CF PF AF SF IF
(0) loops_2.exe!0x401026
EAX=0x00000005 EBX=0x00000000 ECX=0x6f0a5617 EDX=0x000ee188
ESI=0x00000005 EDI=0x00333378 EBP=0x0024fbfc ESP=0x0024fbb8
EIP=0x00331026

```

```

FLAGS=CF AF SF IF
(0) loops_2.exe!0x401026
EAX=0x00000005 EBX=0x00000000 ECX=0x6f0a5617 EDX=0x000ee188
ESI=0x00000006 EDI=0x00333378 EBP=0x0024fbfc ESP=0x0024fbb8
EIP=0x00331026
FLAGS=CF PF AF SF IF
(0) loops_2.exe!0x401026
EAX=0x00000005 EBX=0x00000000 ECX=0x6f0a5617 EDX=0x000ee188
ESI=0x00000007 EDI=0x00333378 EBP=0x0024fbfc ESP=0x0024fbb8
EIP=0x00331026
FLAGS=CF AF SF IF
(0) loops_2.exe!0x401026
EAX=0x00000005 EBX=0x00000000 ECX=0x6f0a5617 EDX=0x000ee188
ESI=0x00000008 EDI=0x00333378 EBP=0x0024fbfc ESP=0x0024fbb8
EIP=0x00331026
FLAGS=CF AF SF IF
(0) loops_2.exe!0x401026
EAX=0x00000005 EBX=0x00000000 ECX=0x6f0a5617 EDX=0x000ee188
ESI=0x00000009 EDI=0x00333378 EBP=0x0024fbfc ESP=0x0024fbb8
EIP=0x00331026
FLAGS=CF PF AF SF IF
PID=12884|Process loops_2.exe exited. ExitCode=0 (0x0)

```

Vediamo il valore del registro ESI, cambiare da 2 a 9.

Oltre a ciò, il **Italian text placeholder** può collezionare i valori del registro a tutti gli indirizzi all'interno della funzione. Questo si chiama *trace*. Ogni istruzione viene tracciata, tutti i valori interessanti del registro vengono collezionati.

Dopodichè, viene generato un **IDA**.idc-script, che aggiunge i commenti. Quindi, abbiamo appreso in **IDA** che l'indirizzo della funzione `main()` è `0x00401020`, quindi eseguiamo:

```
tracer.exe -l:loops_2.exe bpf=loops_2.exe!0x00401020,trace:cc
```

BPF sta per "imposta breakpoint alla funzione".

Come risultato, otteniamo gli script `loops_2.exe.idc` e `loops_2.exe_clear.idc`.

Carichiamo loops_2.exe.idc in IDA e osserviamo:

```
.text:00401020
.text:00401020 ; ===== S U B R O U T I N E =====
.text:00401020
.text:00401020 ; int __cdecl main(int argc, const char **argv, const char **envp)
.text:00401020 _main      proc near          ; CODE XREF: __tmainCRTStartup+11D↓p
.text:00401020
.text:00401020     argc      = dword ptr  4
.text:00401020     argv      = dword ptr  8
.text:00401020     envp      = dword ptr 0Ch
.text:00401020
.text:00401020     push     esi          ; ESI=1
.text:00401021     mov      esi, 2
.text:00401026
.text:00401026 loc_401026:          ; CODE XREF: _main+13↓j
.text:00401026     push     esi          ; ESI=2..9
.text:00401027     call     sub_401000     ; tracing nested maximum level (1) reached,
.text:0040102c     inc      esi          ; ESI=2..9
.text:0040102d     add      esp, 4         ; ESP=0x38fcbc
.text:00401030     cmp      esi, 0Ah      ; ESI=3..0xa
.text:00401033     jl       short loc_401026 ; SF=false,true OF=false
.text:00401035     xor      eax, eax
.text:00401037     pop      esi
.text:00401038     retn                     ; EAX=0
.text:00401038 _main      endp
```

Figura 1.57: IDA con .idc-script caricato

Notiamo che ESI può assumere valori da 2 a 9 all'inizio del corpo del ciclo, ma da 3 a 0xA (10) dopo l'incremento. Notiamo inoltre che il main() termina con 0 in EAX.

Italian text placeholder genera inoltre loops_2.exe.txt, che contiene informazioni riguardo a quante volte ogni istruzione è stata eseguita e i valori del registro:

Listing 1.173: loops_2.exe.txt

```
0x401020 (.text+0x20), e=      1 [PUSH ESI] ESI=1
0x401021 (.text+0x21), e=      1 [MOV ESI, 2]
0x401026 (.text+0x26), e=      8 [PUSH ESI] ESI=2..9
0x401027 (.text+0x27), e=      8 [CALL 8D1000h] tracing nested maximum ✓
    ↳ level (1) reached, skipping this CALL 8D1000h=0x8d1000
0x40102c (.text+0x2c), e=      8 [INC ESI] ESI=2..9
0x40102d (.text+0x2d), e=      8 [ADD ESP, 4] ESP=0x38fcbc
0x401030 (.text+0x30), e=      8 [CMP ESI, 0Ah] ESI=3..0xa
0x401033 (.text+0x33), e=      8 [JL 8D1026h] SF=false,true OF=false
0x401035 (.text+0x35), e=      1 [XOR EAX, EAX]
0x401037 (.text+0x37), e=      1 [POP ESI]
0x401038 (.text+0x38), e=      1 [RETN] EAX=0
```

Possiamo usare grep qui.

ARM

Senza ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

```

main
    STMFD    SP!, {R4,LR}
    MOV      R4, #2
    B        loc_368
loc_35C      ; CODE XREF: main+1C
    MOV      R0, R4
    BL       printing_function
    ADD      R4, R4, #1

loc_368      ; CODE XREF: main+8
    CMP      R4, #0xA
    BLT      loc_35C
    MOV      R0, #0
    LDMFD    SP!, {R4,PC}

```

Il contatore di iterazioni i viene salvato nel registro R4. L'istruzione `MOV R4, #2` inizializza solamente i . Le istruzioni `MOV R0, R4` e `BL printing_function` compongono il corpo del ciclo, la prima istruzione prepara l'argomento per la funzione `f()` e la seconda la chiama. L'istruzione `ADD R4, R4, #1` aggiunge solamente 1 alla variabile i ad ogni iterazione. `CMP R4, #0xA` compara i con 0xA (10). L'istruzione successiva `BLT` (*Branch Less Than*) salta se i è minore di 10. Altrimenti, 0 deve essere scritto in R0 (poiché la nostra funzione restituisce 0) e termina l'esecuzione della funzione.

Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)

```

_main
    PUSH     {R4,LR}
    MOVS     R4, #2

loc_132      ; CODE XREF: _main+E
    MOVS     R0, R4
    BL       printing_function
    ADDS     R4, R4, #1
    CMP      R4, #0xA
    BLT      loc_132
    MOVS     R0, #0
    POP      {R4,PC}

```

Sostanzialmente è uguale.

Con ottimizzazione Xcode 4.6.3 (LLVM) (Modalità Thumb-2)

```

_main
    PUSH     {R4,R7,LR}
    MOVW     R4, #0x1124 ; "%d\n"
    MOVS     R1, #2
    MOVT.W   R4, #0
    ADD      R7, SP, #4
    ADD      R4, PC

```

```

MOV      R0, R4
BLX      _printf
MOV      R0, R4
MOVS     R1, #3
BLX      _printf
MOV      R0, R4
MOVS     R1, #4
BLX      _printf
MOV      R0, R4
MOVS     R1, #5
BLX      _printf
MOV      R0, R4
MOVS     R1, #6
BLX      _printf
MOV      R0, R4
MOVS     R1, #7
BLX      _printf
MOV      R0, R4
MOVS     R1, #8
BLX      _printf
MOV      R0, R4
MOVS     R1, #9
BLX      _printf
MOVS     R0, #0
POP      {R4,R7,PC}

```

Infatti, questo era nella mia funzione `f()`:

```

void printing_function(int i)
{
    printf ("%d\n", i);
};

```

Quindi, LLVM non ha solamente *srotolato* il ciclo, ma ha anche "inserito tra le linee" la mia semplice funzione `f()`, inserendo il suo codice 8 volte anzichè chiamarla.

Ciò è possibile nel caso in cui la funzione sia molto semplice (come la mia) e non venga chiamata molto spesso (come qui).

ARM64: Con ottimizzazione GCC 4.9.1

Listing 1.174: Con ottimizzazione GCC 4.9.1

```

printing_function:
; prepara il secondo argomento di printf():
    mov     w1, w0
; carica l' indirizzo della stringa "f(%d)\n"
    adrp    x0, .LC0
    add     x0, x0, :lo12:LC0
; salta solo qui invece di saltare con link e ritorno:
    b       printf
main:

```

```

; salva FP e LR nello stack locale:
    stp    x29, x30, [sp, -32]!
; prepara lo stack frame:
    add    x29, sp, 0
; salva il contenuto del registro X19 nello stack locale:
    str    x19, [sp,16]
; useremo il registro W19 come contatore.
; imposta 2 come valore iniziale:
    mov    w19, 2
.L3:
; prepara il primo argomento di printing_function():
    mov    w0, w19
; incrementa il registro contatore.
    add    w19, w19, 1
; qui W0 ha ancora il valore del contatore prima dell' incremento.
    bl     printing_function
; è finita?
    cmp    w19, 10
; no, salta all' inizio del corpo del ciclo:
    bne    .L3
; ritorna 0
    mov    w0, 0
; ripristina il contenuto del registro X19:
    ldr    x19, [sp,16]
; ripristina i valori di FP e LR:
    ldp    x29, x30, [sp], 32
    ret
.LC0:
    .string "f(%d)\n"

```

ARM64: Senza ottimizzazione GCC 4.9.1

Listing 1.175: Senza ottimizzazione GCC 4.9.1 -fno-inline

```

.LC0:
    .string "f(%d)\n"
printing_function:
; salva FP e LR nello stack locale:
    stp    x29, x30, [sp, -32]!
; prepara lo stack frame:
    add    x29, sp, 0
; salva il contenuto del registro W0:
    str    w0, [x29,28]
; carica l'indirizzo della stringa "f(%d)\n"
    adrp   x0, .LC0
    add    x0, x0, :lo12:.LC0
; ricarica il valore di input dallo stack locale nel registro W1:
    ldr    w1, [x29,28]
; chiama printf()
    bl     printf
; ripristina i valori di FP e LR:
    ldp    x29, x30, [sp], 32

```

```

        ret
main:
; salva FP e LR nello stack locale:
    stp    x29, x30, [sp, -32]!
; prepara lo stack frame:
    add    x29, sp, 0
; inizializza il contatore
    mov    w0, 2
; salvalo nello spazio allocato per lui nello stack locale:
    str    w0, [x29,28]
; sorvola il corpo del ciclo e salta all' istruzione di controllo della
    condizione di ciclo:
    b      .L3
.L4:
; carica il valore del contatore in W0.
; sarà il primo argomento di printing_function():
    ldr    w0, [x29,28]
; chiama printing_function():
    bl     printing_function
; incrementa il valore del contatore:
    ldr    w0, [x29,28]
    add    w0, w0, 1
    str    w0, [x29,28]
.L3:
; controllo della condizione di ciclo.
; carica il valore del contatore:
    ldr    w0, [x29,28]
; vale 9?
    cmp    w0, 9
; minore o uguale? allora salta all' inizio del corpo del ciclo:
; altrimenti, non fare nulla.
    ble    .L4
; ritorna 0
    mov    w0, 0
; ripristina i valori di FP e LR:
    ldp    x29, x30, [sp], 32
    ret

```

MIPS

Listing 1.176: Senza ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```

main:
; IDA non è al corrente dei nomi delle variabili nello stack locale
; Gli abbiamo dato i nomi manualmente:
i          = -0x10
saved_FP   = -8
saved_RA   = -4

; prologo funzione:
        addiu    $sp, -0x28
        sw       $ra, 0x28+saved_RA($sp)

```

```

        sw      $fp, 0x28+saved_FP($sp)
        move    $fp, $sp
; inizializza il contatore a 2 e salva questo valore nello stack locale
        li      $v0, 2
        sw      $v0, 0x28+i($fp)
; pseudoistruzione. "BEQ $ZERO, $ZERO, loc_9C" qui è:
        b       loc_9C
        or      $at, $zero ; branch delay slot, NOP

loc_80:                                     # CODE XREF: main+48
; carica il valore del contatore dallo stack locale e chiama
printing_function():
        lw      $a0, 0x28+i($fp)
        jal     printing_function
        or      $at, $zero ; branch delay slot, NOP
; carica il contatore, incrementalo, salvalo nuovamente:
        lw      $v0, 0x28+i($fp)
        or      $at, $zero ; NOP
        addiu   $v0, 1
        sw      $v0, 0x28+i($fp)

loc_9C:                                     # CODE XREF: main+18
; controlla il contatore, vale 10?
        lw      $v0, 0x28+i($fp)
        or      $at, $zero ; NOP
        slti    $v0, 0xA
; se è minore di, salta a loc_80 (inizio del corpo del ciclo):
        bnez    $v0, loc_80
        or      $at, $zero ; branch delay slot, NOP
; terminando, ritorna 0:
        move    $v0, $zero
; epilogo funzione:
        move    $sp, $fp
        lw      $ra, 0x28+saved_RA($sp)
        lw      $fp, 0x28+saved_FP($sp)
        addiu   $sp, 0x28
        jr      $ra
        or      $at, $zero ; branch delay slot, NOP

```

L'istruzione per noi nuova è B. E' in realtà la pseudo istruzione(BEQ).

Un' ulteriore cosa

Nel codice generato possiamo notare che: dopo aver inizializzato *i*, il corpo del ciclo non viene eseguito, questo perchè viene prima controllata la condizione su *i*, solamente dopo il corpo del ciclo può essere eseguito. E questo è corretto.

Perchè, se la condizione del ciclo non è rispettata all' inizio, il corpo del ciclo non deve essere eseguito. Ciò è possibile nel caso seguente:

```

for (i=0; i<total_entries_to_process; i++)
    loop_body;

```

Se *total_entries_to_process* vale 0, il corpo del ciclo non deve proprio essere eseguito.

Questo è il motivo del controllo della condizione prima dell' esecuzione.

In ogni caso, un compilatore ottimizzato potrebbe scambiare il controllo della condizione e il corpo del ciclo, se è sicuro che la precedente situazione non sia possibile (come nel caso del nostro semplice esempio e usando compilatori come Keil, Xcode (LLVM), MSVC in modalità ottimizzato).

1.22.2 Routine di copia blocchi di memoria

Le routine di copia della memoria, nel mondo reale, possono copiare 4 o 8 byte ad ogni iterazione, usando [SIMD¹⁰⁴](#), vettorizzazione, etc. Ma per maggiore semplicità, questo esempio è il più semplice possibile.

```
#include <stdio.h>

void my_memcpy (unsigned char* dst, unsigned char* src, size_t cnt)
{
    size_t i;
    for (i=0; i<cnt; i++)
        dst[i]=src[i];
};
```

Implementazione diretta

Listing 1.177: GCC 4.9 x64 ottimizzato per la dimensione (-Os)

```
my_memcpy:
; RDI = indirizzo destinazione
; RSI = indirizzo sorgente
; RDX = dimensione del blocco

; inizializza il contatore (i) a 0
xor     eax, eax
.L2:
; sono stati copiati tutti i byte? allora esci:
cmp     rax, rdx
je      .L5
; carica il byte a RSI+i:
mov     cl, BYTE PTR [rsi+rax]
; salva il byte a RDI+i:
mov     BYTE PTR [rdi+rax], cl
inc     rax ; i++
jmp     .L2
.L5:
ret
```

¹⁰⁴Single Instruction, Multiple Data

Listing 1.178: GCC 4.9 ARM64 ottimizzato per la dimensione (-Os)

```

my_memcpy:
; X0 = indirizzo destinazione
; X1 = indirizzo sorgente
; X2 = dimensione del blocco

; inizializza il contaore (i) a 0
    mov     x3, 0
.L2:
; sono stati copiati tutti i byte? allora esci:
    cmp     x3, x2
    beq     .L5
; carica il byte a X1+i:
    ldrb     w4, [x1,x3]
; salva il byte a X0+i:
    strb     w4, [x0,x3]
    add     x3, x3, 1 ; i++
    b       .L2
.L5:
    ret

```

Listing 1.179: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)

```

my_memcpy PROC
; R0 = indirizzo destinazione
; R1 = indirizzo sorgente
; R2 = dimensione del blocco

    PUSH     {r4,lr}
; inizializza il contatore (i) a 0
    MOVS     r3,#0
; condizione controllata alla fine della funzione, quindi salta li:
    B        |L0.12|
|L0.6|
; carica il byte a R1+i:
    LDRB     r4,[r1,r3]
; salva il byte a R0+i:
    STRB     r4,[r0,r3]
; i++
    ADDS     r3,r3,#1
|L0.12|
; i<size?
    CMP      r3,r2
; se è così, salta all' inizio del ciclo:
    BCC      |L0.6|
    POP      {r4,pc}
    ENDP

```

ARM in modalità ARM

Keil in modalità ARM sfrutta appieno i suffissi condizionali:

Listing 1.180: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

```

my_memcpy PROC
; R0 = indirizzo destinazione
; R1 = indirizzo sorgente
; R2 = dimensione del blocco

; inizializza il contatore (i) a 0
    MOV     r3,#0
|L0.4|
; sono stati copiati tutti i byte?
    CMP     r3,r2
; il seguente blocco è eseguito solo se la condizione è minore di,
; i.e., se R2<R3 o i<size.
; carica il byte a R1+i:
    LDRBCC  r12,[r1,r3]
; salva il byte a R0+i:
    STRBCC  r12,[r0,r3]
; i++
    ADDCC   r3,r3,#1
; l' ultima istruzione del blocco condizionale.
; salta all' inizio del ciclo se i<size
; non fare niente altrimenti (i.e., if i>=size)
    BCC     |L0.4|
; ritorna
    BX      lr
ENDP

```

Ecco perchè c'è solo un istruzione di diramazione anzichè 2.

MIPS

Listing 1.181: GCC 4.4.5 ottimizzato per la dimensione (-Os) (IDA)

```

my_memcpy:
; salta alla parte di controllo del ciclo:
    b       loc_14
; inizializza il contatore (i) a 0
; risiederà sempre in $v0:
    move    $v0, $zero ; branch delay slot

loc_8:                                     # CODE XREF: my_memcpy+1C
; carica il byte senza segno da $t0 in $v1:
    lbu     $v1, 0($t0)
; incrementa il contatore (i):
    addiu   $v0, 1
; salva il byte in $a3
    sb      $v1, 0($a3)

loc_14:                                    # CODE XREF: my_memcpy
; controlla se il contatore (i) in $v0 è ancora minore del 3° argomento della
; funzione ("cnt" in $a2):
    sltu    $v1, $v0, $a2
; forma l'indirizzo del byte nel blocco sorgente:

```

```

        addu    $t0, $a1, $v0
; $t0 = $a1+$v0 = src+i
; se il contatore è ancora minore di "cnt", salta al corpo del ciclo:
        bnez    $v1, loc_8
; forma l'indirizzo del byte nel blocco destinazione ($a3 = $a0+$v0 = dst+i):
        addu    $a3, $a0, $v0 ; branch delay slot
; termina se BNEZ non è stato attivato:
        jr      $ra
        or      $at, $zero ; branch delay slot, NOP

```

Qui abbiamo due nuove istruzioni: LBU («Load Byte Unsigned») e SB («Store Byte»).

Esattamente come in ARM, tutti i registri in MIPS sono larghi 32 bit, non ci sono parti larghe un byte come in x86.

Quindi quando maneggiamo dei singoli byte, dobbiamo allocare interi registri a 32 bit per loro.

LBU carica un byte e pulisce tutti gli altri bit («Unsigned»).

D'altro canto, l'istruzione LB («Load Byte») estende il segno del byte caricato a un valore su 32 bit.

SB scrive solamente in memoria un byte dagli ultimi 8 bit del registro.

Vettorizzazione

Con ottimizzazione GCC può fare molto di più con questo esempio: ?? on page ??.

1.22.3 Controllo condizione

E' importante tenere a mente che nel costrutto *for()*, la condizione non è controllata alla fine, ma all'inizio, prima che il corpo del ciclo venga eseguito. Ma spesso, è più conveniente per il compilatore controllarla alla fine, dopo il corpo. A volte, può essere aggiunto un controllo aggiuntivo all'inizio.

Per esempio:

```

#include <stdio.h>

void f(int start, int finish)
{
    for (; start<finish; start++)
        printf ("%d\n", start);
};

```

GCC 5.4.0 x64 ottimizzato:

```

f:
; check condition (1):
    cmp     edi, esi
    jge     .L9
    push    rbp
    push    rbx

```

```

        mov     ebp, esi
        mov     ebx, edi
        sub     rsp, 8
.L5:
        mov     edx, ebx
        xor     eax, eax
        mov     esi, OFFSET FLAT:.LC0 ; "%d\n"
        mov     edi, 1
        add     ebx, 1
        call    __printf_chk
; check condition (2):
        cmp     ebp, ebx
        jne     .L5
        add     rsp, 8
        pop     rbx
        pop     rbp
.L9:
        rep     ret

```

Notiamo due controlli.

Hex-Rays (alla versione 2.2.0) lo decompila così:

```

void __cdecl f(unsigned int start, unsigned int finish)
{
    unsigned int v2; // ebx@2
    __int64 v3; // rdx@3

    if ( (signed int)start < (signed int)finish )
    {
        v2 = start;
        do
        {
            v3 = v2++;
            _printf_chk(1LL, "%d\n", v3);
        }
        while ( finish != v2 );
    }
}

```

In questo caso, *do/while()* può essere senza alcun dubbio rimpiazzato con *for()*, e il primo controllo può essere rimosso.

1.22.4 Conclusione

Scheletro grezzo del ciclo da 2 a 9 inclusi:

Listing 1.182: x86

```

        mov     [counter], 2 ; inizializzazione
        jmp     check
body:
        ; corpo del ciclo

```

```

; fai qualcosa qui
; utilizza la variabile contatore nello stack locale
add [counter], 1 ; incrementa
check:
    cmp [counter], 9
    jle body

```

L'operazione di incremento può essere rappresentata con 3 istruzioni nel codice non ottimizzato:

Listing 1.183: x86

```

MOV [counter], 2 ; inizializzazione
JMP check
body:
; corpo del ciclo
; fai qualcosa qui
; utilizza la variabile contatore nello stack locale
MOV REG, [counter] ; incrementa
INC REG
MOV [counter], REG
check:
    CMP [counter], 9
    JLE body

```

Se il corpo del ciclo è corto, un intero registro può essere dedicato alla variabile contatore:

Listing 1.184: x86

```

MOV EBX, 2 ; inizializzazione
JMP check
body:
; corpo del ciclo
; fai qualcosa qui
; usa il contatore in EBX, ma non modificarlo!
INC EBX ; incrementa
check:
    CMP EBX, 9
    JLE body

```

Molte parti del ciclo possono essere generate in ordine diverso dal compilatore:

Listing 1.185: x86

```

MOV [counter], 2 ; inizializzazione
JMP label_check
label_increment:
    ADD [counter], 1 ; incrementa
label_check:
    CMP [counter], 10
    JGE exit
; corpo del ciclo
; fai qualcosa qui

```

```

; usa la variabile contatore nello stack locale
JMP label_increment
exit:

```

Di solito la condizione è controllata *prima* del corpo del ciclo, ma il compilatore potrebbe riarrangiarlo in maniera che la condizione sia controllata *dopo* il corpo del ciclo.

Questo avviene quando il compilatore è sicuro che la condizione è sempre vera per la prima iterazione, di conseguenza il corpo del ciclo verrà eseguito almeno una volta:

Listing 1.186: x86

```

MOV REG, 2 ; inizializzazione
body:
; corpo del ciclo
; fai qualcosa qui
; usa il contatore in REG, ma non modificarlo!
INC REG ; incrementa
CMP REG, 10
JL body

```

Utilizzando l'istruzione di LOOP. E' raro che il compilatore non lo utilizzi. Se ciò avviene, è segno che il codice è stato scritto a mano:

Listing 1.187: x86

```

; conta da 10 a 1
MOV ECX, 10
body:
; corpo del ciclo
; fai qualcosa qui
; utilizza il contatore in ECX, ma non modificarlo!
LOOP body

```

ARM.

Il registro R4 è dedicato alla variabile contatore in questo esempio:

Listing 1.188: ARM

```

MOV R4, 2 ; inizializzazione
B check
body:
; corpo del ciclo
; fai qualcosa qui
; utilizza il contatore in R4, ma non modificarlo!
ADD R4,R4, #1 ; incrementa
check:
CMP R4, #10
BLT body

```

1.22.5 Esercizi

- <http://challenges.re/54>
- <http://challenges.re/55>
- <http://challenges.re/56>
- <http://challenges.re/57>

1.23 Maggiori informazioni sulle stringhe

1.23.1 strlen()

Parliamo ancora una volta dei cicli. Spesso, la funzione `strlen()` ¹⁰⁵ è implementata utilizzando il costrutto `while()`. Ecco come è fatta nelle librerie standard di MSVC:

```
int my_strlen (const char * str)
{
    const char *eos = str;

    while( *eos++ ) ;

    return( eos - str - 1 );
}

int main()
{
    // test
    return my_strlen("hello!");
};
```

x86

Senza ottimizzazione MSVC

Compiliamolo:

```
_eos$ = -4 ; dimensione = 4
_str$ = 8 ; dimensione = 4
_strlen PROC
    push    ebp
    mov     ebp, esp
    push    ecx
    mov     eax, DWORD PTR _str$[ebp] ; prendi il puntatore alla stringa da
    "str"
    mov     DWORD PTR _eos$[ebp], eax ; piazzalo nella variabile locale
    "eos"
$LN2@strlen_:
    mov     ecx, DWORD PTR _eos$[ebp] ; ECX=eos
```

¹⁰⁵conta i caratteri in una stringa, nel linguaggio C

```

; prendi un byte (8-bit) dall' indirizzo in ECX e piazzalo
; in EDX come valore a 32-bit con estensione del segno

movsx    edx, BYTE PTR [ecx]
mov      eax, DWORD PTR _eos$[ebp] ; EAX=eos
add      eax, 1                    ; incrementa EAX
mov      DWORD PTR _eos$[ebp], eax ; rimetti EAX in "eos"
test     edx, edx                  ; EDX è zero?
je       SHORT $LN1@strlen_        ; sì, allora termina il ciclo
jmp      SHORT $LN2@strlen_        ; continua il ciclo
$LN1@strlen_:

; qui calcoliamo la differenza tra 2 puntatori

mov      eax, DWORD PTR _eos$[ebp]
sub      eax, DWORD PTR _str$[ebp]
sub      eax, 1                    ; sottrai 1 e ritorna il risultato
mov      esp, ebp
pop      ebp
ret      0
_strlen_ ENDP

```

Qui, abbiamo due nuove istruzioni: `MOVSX` e `TEST`.

La prima—`MOVSX`—prende un byte da un indirizzo in memoria e salva il valore in un registro a 32-bit. `MOVSX` sta per *MOV with Sign-Extend*. `MOVSX` imposta i restanti bit, dal 8 al 31, a 1 se il byte sorgente è *negativo* o a 0 se *positivo*.

Vediamo il perchè.

Di default, il tipo *char* è con segno in MSVC e GCC. Se abbiamo due valori, uno dei quali è *char* mentre l' altro è *int*, (anche *int* è con segno), se il primo valore contiene -2 (codificato come 0xFE) e copiamo il byte nel contenitore *int*, sarebbe 0x000000FE e ciò dal punto di vista di un *int* con segno è 254, non -2. Negli interi con segno, -2 è codificato come 0xFFFFFEE. Quindi se vogliamo trasferire 0xFE da una variabile di tipo *char* a *int*, dobbiamo identificare il suo segno estenderlo. Questo è ciò che fa `MOVSX`.

E difficile dire se il compilatore necessita di salvare una variabile *char* in EDX, potrebbe prendere solo la parte a 8-bit di un registro (per esempio DL). Apparentemente, il [registro allocatore](#) del compilatore funziona così.

Dopodichè vediamo `TEST EDX, EDX`. Maggiori dettagli riguardo all' istruzione `TEST` nella sezione dei campi di bit ([?? on page ??](#)). In questo caso, questa istruzione controlla solamente se il valore in EDX è pari a 0.

Senza ottimizzazione GCC

Proviamo GCC 4.4.1:

```

strlen      public strlen
strlen      proc near

```

```

eos          = dword ptr -4
arg_0        = dword ptr 8

                push    ebp
                mov     ebp, esp
                sub     esp, 10h
                mov     eax, [ebp+arg_0]
                mov     [ebp+eos], eax

loc_80483F0:
                mov     eax, [ebp+eos]
                movzx   eax, byte ptr [eax]
                test    al, al
                setnz   al
                add     [ebp+eos], 1
                test    al, al
                jnz     short loc_80483F0
                mov     edx, [ebp+eos]
                mov     eax, [ebp+arg_0]
                mov     ecx, edx
                sub     ecx, eax
                mov     eax, ecx
                sub     eax, 1
                leave
                retn
strlen        endp

```

Il risultato è quasi lo stesso di MSVC, ma qui possiamo notare MOVZX al posto di MOVZX. MOVZX sta per *MOV with Zero-Extend*. Questa istruzione copia un valore a 8 o 16 bit in un registro a 32-bit e imposta i restanti bit a 0. Infatti, questa istruzione è conveniente solo perchè ci permette di rimpiazzare questa coppia di istruzioni: `xor eax, eax / mov al, [...]`.

D'altronde, è ovvio che il compilatore possa produrre questo codice: `mov al, byte ptr [eax] / test al, al`—è quasi lo stesso, tuttavia, i bit più alti del registro EAX conteranno rumore casuale. Ma supponiamo sia un ostacolo del compilatore—non potrebbe più produrre codice leggibile. Parlando francamente, il compilatore non è obbligato ad emettere codice del tutto comprensibile (agli umani).

La prossima nuova istruzione è SETNZ. In questo caso, se AL non contiene zero, `test al, al` imposta la flag ZF a 0, ma SETNZ, se ZF==0 (NZ sta per *not zero*) imposta AL a 1. Parlando con un linguaggio naturale, *se AL non è zero, salta a loc_80483F0*. Il compilatore emette molto codice rondante, ma non dimentichiamo che le ottimizzazioni sono spente.

Con ottimizzazione MSVC

Ora compiliamo il tutto in MSVC 2012, con le ottimizzazioni attivate (/Ox):

Listing 1.189: Con ottimizzazione MSVC 2012 /Ob0

```

_str$ = 8                                ; dimensione = 4

```



```

_strlen PROC
    mov     edx, DWORD PTR _str$[esp-4] ; EDX -> puntatore alla stringa
    mov     eax, edx                    ; spostalo in EAX
$LL2@strlen:
    mov     cl, BYTE PTR [eax]          ; CL = *EAX
    inc     eax                          ; EAX++
    test    cl, cl                       ; CL==0?
    jne     SHORT $LL2@strlen           ; no, continua il ciclo
    sub     eax, edx                     ; calcola la differenza tra
        puntatori
    dec     eax                          ; decrementa EAX
    ret     0
_strlen ENDP

```

Ora è tutto più semplice. Inutile dire che il compilatore può usare i registri con tale efficienza solo in piccole funzioni con poche variabili locali.

INC/DEC—sono le istruzioni [incrementa](#)/[decrementa](#), in altre parole: aggiunge o sottrae 1 a/da una variabile.

Con ottimizzazione MSVC + OllyDbg

Testiamo questo esempio (ottimizzato) in OllyDbg. Questa è la prima iterazione:

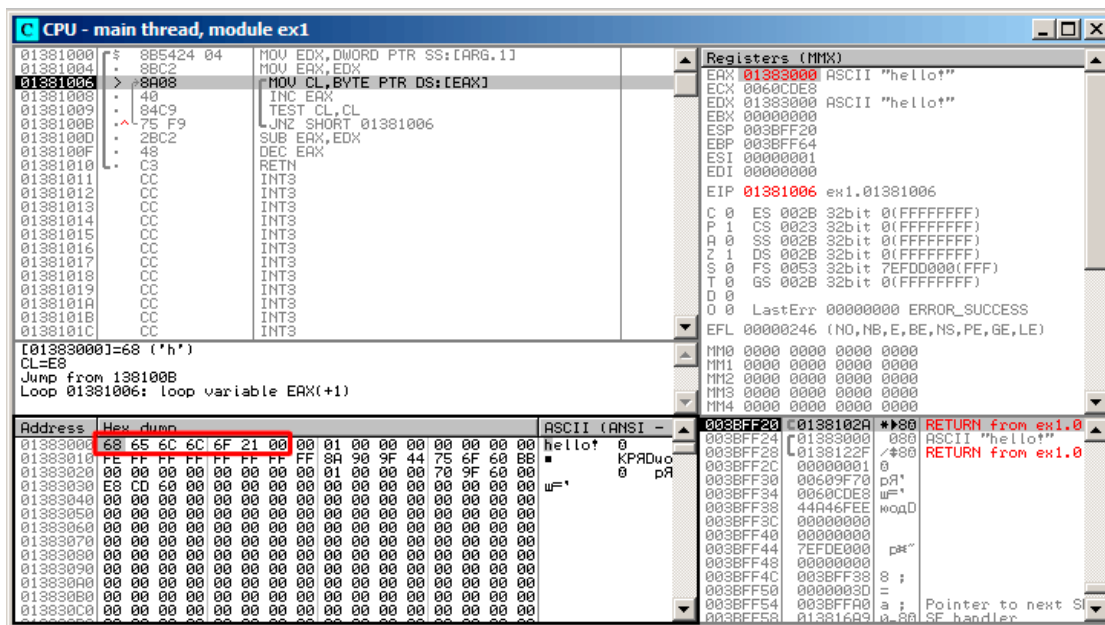


Figura 1.58: OllyDbg: inizio prima iterazione

Notiamo che OllyDbg ha trovato un ciclo e per convenienza, ha avvolto le sue istruzioni dentro le parentesi. Cliccando con il tasto destro su EAX e scegliendo «Follow in Dump», la finestra della memoria scorrerà fino al punto giusto. Possiamo vedere la stringa «hello!» in memoria. C'è almeno uno zero byte dopo la stringa e poi spazzatura casuale.

Se OllyDbg vede un registro contenente un indirizzo valido, che punta ad una stringa, lo mostra come stringa.

Premiamo F8 (step over) un paio di volte, per arrivare all' inizio del corpo del ciclo:

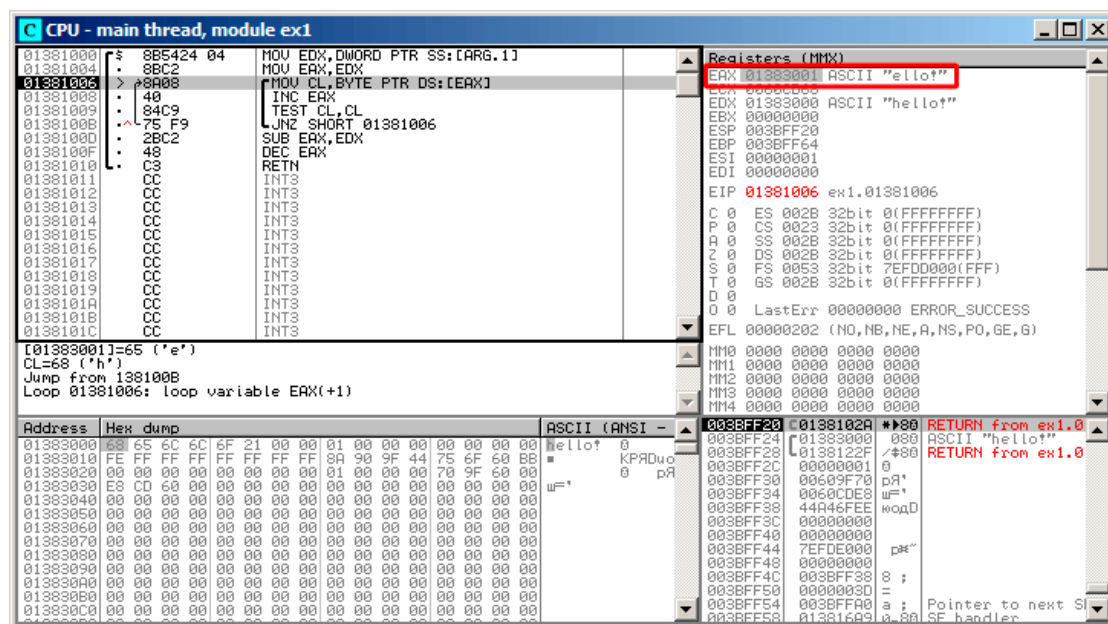


Figura 1.59: OllyDbg: inizio seconda iterazione

Notiamo che EAX contiene l'indirizzo del secondo carattere nella stringa.

Dobbiamo premere F8 un numero di volte sufficiente per uscire dal ciclo:

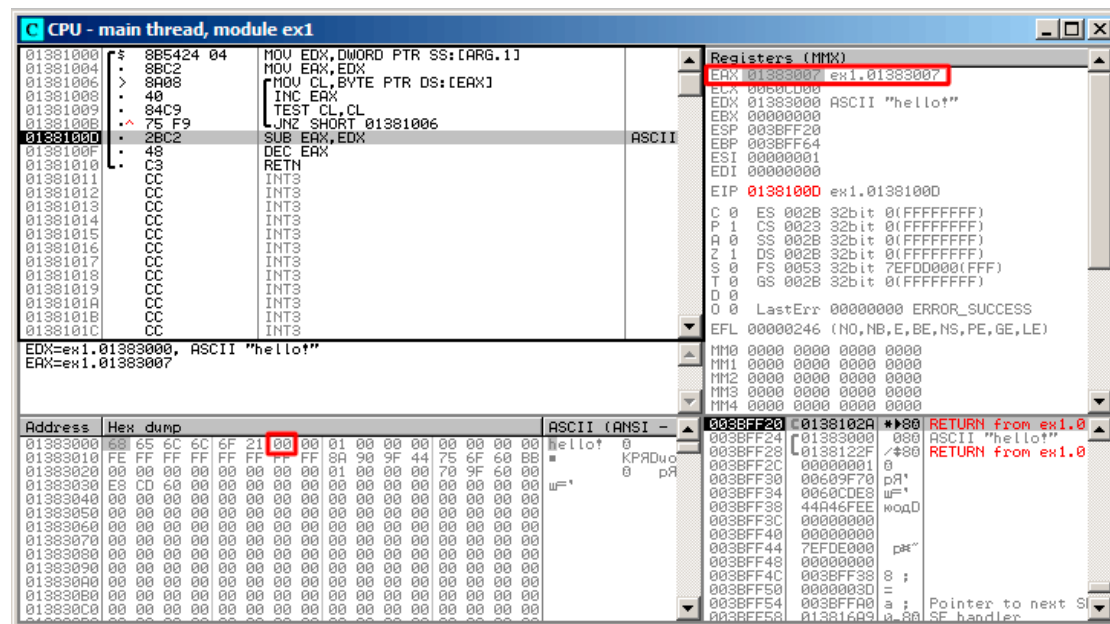


Figura 1.60: OllyDbg: differenza di puntatori da calcolare

Notiamo che ora EAX contiene l'indirizzo dello zero byte che si trova subito dopo la stringa più 1 (perché `INC EAX` è stato eseguito indipendentemente dal fatto che siamo usciti o meno dal ciclo). Nel frattempo, EDX non è cambiato, quindi sta ancora puntando all'inizio della stringa.

La differenza tra questi due indirizzi verrà calcolata ora.

L'istruzione SUB è stata appena eseguita:

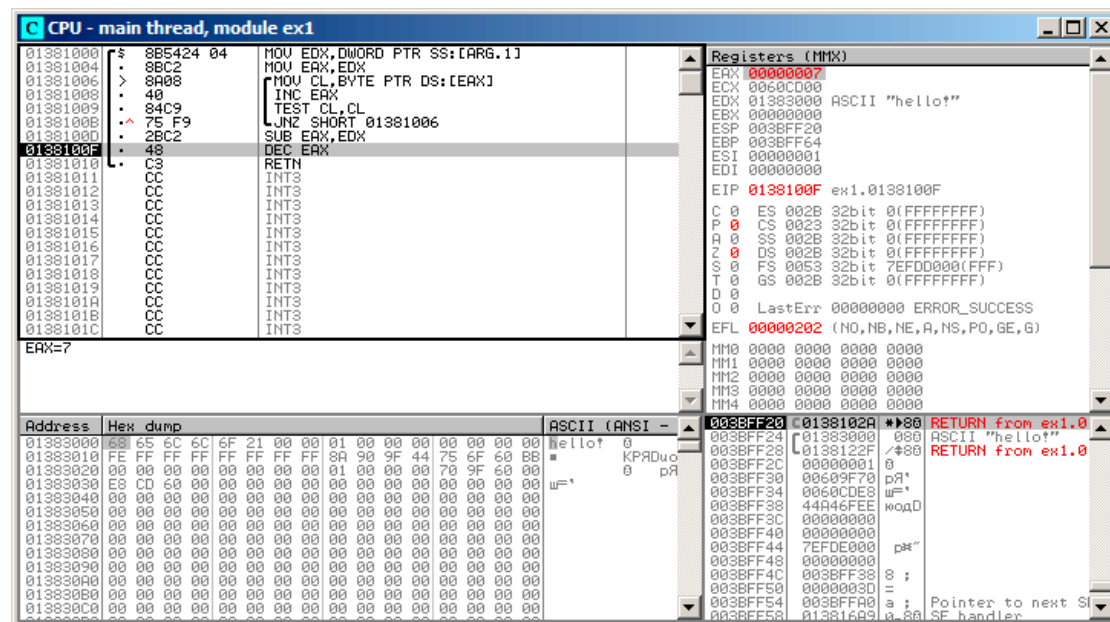


Figura 1.61: OllyDbg: EAX sta venendo decrementato

La differenza tra i puntatori, in questo momento, si trova nel registro EAX—7. In realtà, la lunghezza della stringa «hello!» è 6, ma con lo zero byte incluso—7. Ma `strlen()` deve ritornare il numero di caratteri nella stringa, diversi da zero. Quindi viene eseguito un decremento, dopodichè la funzione ritorna.

Con ottimizzazione GCC

Vediamo GCC 4.4.1 con le ottimizzazioni attivate (-O3 key):

<code>strlen</code>	<code>public strlen</code>
	<code>proc near</code>
<code>arg_0</code>	<code>= dword ptr 8</code>
	<code>push ebp</code>
	<code>mov ebp, esp</code>
	<code>mov ecx, [ebp+arg_0]</code>
	<code>mov eax, ecx</code>
<code>loc_8048418:</code>	
	<code>movzx edx, byte ptr [eax]</code>
	<code>add eax, 1</code>
	<code>test dl, dl</code>
	<code>jnz short loc_8048418</code>

	not	ecx
	add	eax, ecx
	pop	ebp
	retn	
strlen	endp	

Qui GCC è quasi lo stesso di MSVC, eccetto per la presenza di MOVZX. Tuttavia, in questo caso MOVZX può essere rimpiazzato con `mov dl, byte ptr [eax]`.

Forse è più semplice per il generatore di codice di GCC *ricordare* che l'intero registro EDX a 32-bit è stato allocato per una variabile *char* e quindi è sicuro che i bit più alti non contengono rumore in nessun momento.

Dopodichè vediamo una nuova istruzione—NOT. Questa istruzione inverte tutti i bit nell'operando.

Possiamo dire che è sinonimo dell'istruzione `XOR ECX, 0xffffffffh`. NOT e il seguente ADD calcolano la differenza di puntatori e sottraggono 1, solamente in maniera diversa. All'inizio ECX, dove è salvato il puntatore a *str*, viene invertito e gli viene sottratto 1.

In altre parole, alla fine della funzione, appena prima del corpo del ciclo, vengono eseguite queste istruzioni:

```
ecx=str;
eax=eos;
ecx=(-ecx)-1;
eax=eax+ecx
return eax
```

... che effettivamente è equivalente a:

```
ecx=str;
eax=eos;
eax=eax-ecx;
eax=eax-1;
return eax
```

Perchè GCC ha deciso che è meglio così? Difficile da dire. Ma forse entrambe le varianti hanno efficienza equivalente.

ARM

32-bit ARM

Senza ottimizzazione Xcode 4.6.3 (LLVM) (Modalità ARM)

Listing 1.190: Senza ottimizzazione Xcode 4.6.3 (LLVM) (Modalità ARM)

```
_strlen
```

```

eos  = -8
str  = -4

    SUB    SP, SP, #8 ; alloca 8 byte per le variabili locali
    STR    R0, [SP,#8+str]
    LDR    R0, [SP,#8+str]
    STR    R0, [SP,#8+eos]

loc_2CB8 ; CODE XREF: _strlen+28
    LDR    R0, [SP,#8+eos]
    ADD    R1, R0, #1
    STR    R1, [SP,#8+eos]
    LDRSB  R0, [R0]
    CMP    R0, #0
    BEQ    loc_2CD4
    B      loc_2CB8
loc_2CD4 ; CODE XREF: _strlen+24
    LDR    R0, [SP,#8+eos]
    LDR    R1, [SP,#8+str]
    SUB    R0, R0, R1 ; R0=eos-str
    SUB    R0, R0, #1 ; R0=R0-1
    ADD    SP, SP, #8 ; libera gli 8 byte allocati
    BX     LR

```

LLVM non ottimizzata genera troppo codice, tuttavia, qui possiamo vedere come la funzione lavora con le variabili locali nello stack. Ci sono solo due variabili locali nella nostra funzione: *eos* e *str*. In questo listato, generato da [IDA](#), abbiamo rinominato manualmente *var_8* e *var_4* in *eos* e *str*.

Le prime istruzioni, salvano solamente i valori di input in entrambe *str* e *eos*.

Il corpo del ciclo inizia a *loc_2CB8*.

Le prime tre istruzioni nel corpo del ciclo(LDR, ADD, STR) caricano il valore di *eos* in R0. Dopodichè il valore viene [incrementato](#) e risalvato in *eos*, che è situata nello stack.

L'istruzione successiva, LDRSB R0, [R0] («Load Register Signed Byte»), carica un byte dalla memoria all'indirizzo salvato in R0 e lo estende con segno in 32-bit ¹⁰⁶. Ciò è simile all'istruzione MOVSB in x86.

Il compilatore tratta questo byte come con segno da quando il tipo *char* è con segno in accordo con lo standard C. Riguardo a ciò, se ne è già parlato nella sezione ([1.23.1 on page 258](#)), in relazione a x86.

E' da notare che in ARM è impossibile utilizzare una parte a 8 o 16 bit di un registro a 32-bit separatamente dall'intero registro, come in x86.

Apparentemente, è perché x86 ha un'enorme storia di retrocompatibilità con i suoi antenati fino all'8086 a 16 bit e persino all'8080 a 8 bit, ma ARM è stato sviluppato da zero come un processore RISC a 32 bit.

¹⁰⁶Il compilatore Keil tratta il tipo *char* come con segno, proprio come MSVC e GCC.

Di conseguenza, per elaborare byte separati in ARM, è necessario utilizzare comunque i registri a 32 bit.

Quindi, LDRSB carica i byte dalla stringa a R0, uno alla volta. Le seguenti istruzioni CMP e [BEQ](#), controllano se il byte caricato è 0. Se non è 0, il controllo passa all' inizio del corpo del ciclo. E se è 0, il ciclo termina.

Alla fine della funzione, la differenza tra *eos* e *str* è calcolata, viene sottratto 1 da esso, e il valore risultante viene ritornato attraverso R0.

N.B. I registri non sono stati salvati in questa funzione.

Questo perchè nella convenzione a chiamata ARM, i registri R0-R3 sono «scratch registers», utilizzati per il passaggio di argomenti, e non ci è richiesto di ripristinare il loro valore quando la funzione esce, in quanto la funzione chiamante non gli userà più. Di conseguenza, possono essere utilizzati per ciò che vogliamo.

Nessun altro registro viene usato qui, quindi è per questo che non abbiamo nulla da salvare nello stack.

Così, il controllo può essere ritornato alla funzione chiamante con un semplice salto (BX), all' indirizzo nel registro [LR](#).

Con ottimizzazione Xcode 4.6.3 (LLVM) (Modalità Thumb)

Listing 1.191: Con ottimizzazione Xcode 4.6.3 (LLVM) (Modalità Thumb)

```

_strlen
    MOV        R1, R0

loc_2DF6
    LDRB.W     R2, [R1], #1
    CMP        R2, #0
    BNE        loc_2DF6
    MVNS       R0, R0
    ADD        R0, R1
    BX         LR

```

Come conclude LLVM ottimizzata, *eos* e *str* non necessitano spazio nello stack, e possono sempre essere salvate nei registri.

Prima dell' inizio del corpo del ciclo, *str* è sempre in R0, e *eos*—in R1.

L' istruzione LDRB.W R2, [R1], #1, carica un byte dalla memoria all' indirizzo salvato in R1, in R2, estendendo con segno ad un valore 32-bit, ma non solo. #1 alla fine dell' istruzione è implicito «Post-indexed addressing», che significa che 1 verrà aggiunto a R1 dopo che il byte è caricato. Approfondimento: [??](#) on page [??](#).

Come potete vedere CMP e [BNE](#)¹⁰⁷ sono nel corpo del ciclo, queste istruzioni continueranno a ciclare fino a che 0 non verrà trovato nella stringa.

¹⁰⁷(PowerPC, ARM) Branch if Not Equal

Le istruzioni MVNS¹⁰⁸ (inverte tutti i bit, come NOT in x86) e ADD calcolano $eos - str - 1$. Infatti, queste due istruzioni eseguono $R0 = str + eos$, che è effettivamente equivalente a quello che c'era nel codice sorgente, ed il motivo, è stato già spiegato qui (1.23.1 on page 265).

Apparentemente, LLVM, proprio come GCC, ha concluso che questo codice può essere più corto (o veloce).

Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

Listing 1.192: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

_strlen	MOV	R1, R0
loc_2C8	LDRB	R2, [R1], #1
	CMP	R2, #0
	SUBEQ	R0, R1, R0
	SUBEQ	R0, R0, #1
	BNE	loc_2C8
	BX	LR

Quasi lo stesso di ciò che abbiamo visto prima, con la differenza che l'espressione $str - eos - 1$ può non essere calcolata alla fine della funzione, ma direttamente nel corpo del ciclo. Il suffisso -EQ, come possiamo ricordare, implica che l'istruzione viene eseguita solo se gli operandi in CMP, che sono stati eseguiti prima, erano uguali tra loro. Pertanto, se R0 contiene 0, entrambe le istruzioni SUBEQ vengono eseguite e il risultato viene lasciato nel registro R0.

ARM64

Con ottimizzazione GCC (Linaro) 4.9

```
my_strlen:
    mov     x1, x0
    ; X1 ora è un puntatore temporaneo (eos), si comporta come un cursor
.L58:
    ; carica un byte da X1 a W2, incrementa X1 (post-index)
    ldrb    w2, [x1], 1
    ; "Compare and Branch if NonZero": controlla se W2 = 0,
    ; salta a .L58 se non lo è
    cbnz    w2, .L58
    ; calcola la differenza tra il puntatore iniziale
    ; in X0 e l'indirizzo corrente in X1
    sub     x0, x1, x0
    ; decrementa il 32° bit più basso del risultato (LSB)
```

¹⁰⁸MoVe Not

```
sub    w0, w0, #1
ret
```

L' algoritmo è lo stesso di [1.23.1 on page 259](#): trova un byte zero, calcola la differenza tra i puntatori e decrementa il risultato di 1. Molti commenti sono stati aggiunti dall' autore di questo libro.

L' unica cosa degna di nota è che il nostro esempio è in qualche modo sbagliato: `my_strlen()` ritorna un *int* a 32 bit, mentre dovrebbe ritornare *size_t* o un altro tipo a 64 bit.

La ragione è che, teoricamente, `strlen()` potrebbe essere chiamata per un grosso blocco in memoria che eccede 4GB, quindi deve essere in grado di ritornare un valore a 64 bit su piattaforme a 64 bit.

Per via del mio errore, l' ultima istruzione `SUB` opera su una parte a 32-bit del registro, mentre la penultima istruzione `SUB` lavora sull' intero registro a 64 bit (calcola la differenza tra i puntatori).

E' un mio errore, è meglio lasciarlo com'è, come esempio di come il codice potrebbe apparire in questi casi.

Senza ottimizzazione GCC (Linaro) 4.9

```
my_strlen:
; prologo funzione
    sub    sp, sp, #32
; il primo argomento (str) verrà salvato in [sp,8]
    str    x0, [sp,8]
    ldr    x0, [sp,8]
; copia "str" nella variabile "eos"
    str    x0, [sp,24]
    nop
.L62:
; eos++
    ldr    x0, [sp,24] ; carica "eos" in X0
    add    x1, x0, 1 ; incrementa X0
    str    x1, [sp,24] ; salva X0 in "eos"
; carica un byte dall' indirizzo di memoria contenuto in X0 a W0
    ldrb    w0, [x0]
; vale zero? (WZR è il registro a 32 bit che contiene sempre zero)
    cmp    w0, wzr
; salta se non è zero (Branch Not Equal)
    bne    .L62
; zero byte trovato. ora calcola la differenza.
; carica "eos" in X1
    ldr    x1, [sp,24]
; carica "str" in X0
    ldr    x0, [sp,8]
; calcola la differenza
    sub    x0, x1, x0
; decrementa il risultato
```

```

        sub    w0, w0, #1
; epilogo funzione
        add    sp, sp, 32
        ret

```

E' più verboso. Le variabili vengono spesso lanciate qui da e verso la memoria (stack locale). Qui c'è lo stesso errore: l'operazione di decremento avviene su una parte del registro a 32 bit.

MIPS

Listing 1.193: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```

my_strlen:
; la variabile "eos" risiederà sempre in $v1:
        move    $v1, $a0

loc_4:
; carica il byte dall' indirizzo in "eos" in $a1:
        lb      $a1, 0($v1)
        or      $a1, $zero ; carica delay slot, NOP
; se il valore caricato è diverso da zero, salta a loc_4:
        bnez    $a1, loc_4
; incrementa "eos" altrimenti:
        addiu    $v1, 1 ; branch delay slot
; ciclo terminato, inverti la variabile "str":
        nor      $v0, $zero, $a0
; $v0=-str-1
        jr      $ra
; ritorna il valore = $v1 + $v0 = eos + ( -str-1 ) = eos - str - 1
        addu     $v0, $v1, $v0 ; branch delay slot

```

MIPS non ha una istruzione NOT, ma ha NOR che è l'operazione OR + NOT.

Questa operazione è ampiamente utilizzata nell'elettronica digitale¹⁰⁹. Per esempio, l'Apollo Guidance Computer utilizzato nel programma Apollo, fu costruito solamente utilizzando 5600 porte NOR : [Jens Eickhoff, *Onboard Computers, Onboard Software and Satellite Operations: An Introduction*, (2011)]. Ma l'elemento NOR non è molto popolare nella programmazione.

Quindi, l'operazione NOT qui è implementata come NOR DST, \$ZERO, SRC.

Dai fondamenti sappiamo che l'inversione di tutti i bit di un numero con segno, equivale a cambiargli il segno e sottrarre 1 dal risultato.

Quindi quello che NOT fa in questo caso, è prendere il valore di *str* e trasformarlo in $-str - 1$. L'operazione di addizione che segue prepara il risultato.

¹⁰⁹NOR è chiamata «porta universale»

1.23.2 Delimitazione delle stringhe

E' interessante notare, come i parametri vengono passati alla funzione win32 *GetOpenFileName()*. Per chiamarlo, è necessario impostare un elenco di estensioni di file consentite:

```
OPENFILENAME *LPOPENFILENAME;
...
char * filter = "Text files (*.txt)\0*.txt\0MS Word files (*.doc)\0\0*.doc\0\0";
LPOPENFILENAME = (OPENFILENAME *)malloc(sizeof(OPENFILENAME));
...
LPOPENFILENAME->lpstrFilter = filter;
...

if(GetOpenFileName(LPOPENFILENAME))
{
    ...
}
```

Ciò che accade qui, è che la lista di stringhe viene passata a *GetOpenFileName()*. Non è un problema analizzarla: ogni volta che si incontra un singolo zero byte, questo è un elemento. Ogni qualvolta si incontrano due zero byte, si è alla fine della lista. Se passassimo la stringa a *printf()*, tratterebbe il primo oggetto come una singola stringa.

Quindi, questa è una stringa, oppure...? Sarebbe meglio dire che questo un buffer contenente diverse stringhe C zero terminate, le quali possono essere salvate e processate nel loro insieme.

Un altro esempio è la funzione *strtok()*. Essa prende una stringa e scrive dei byte zero al suo interno. Trasforma quindi la stringa di input in un qualche tipo di buffer, che ha diverse stringhe C con lo zero terminatore.

1.24 Sostituzione di istruzioni aritmetiche con altre

Nel ricercare l'ottimizzazione, un'istruzione può essere rimpiazzata con un'altra, o anche con un gruppo di istruzioni. Per esempio, ADD e SUB possono rimpiazzarsi a vicenda: linea 18 in listato.??.

Per esempio, l'istruzione LEA è spesso utilizzata per semplici calcoli aritmetici: ?? on page ??.

1.24.1 Moltiplicazioni

Moltiplicare usando addizioni

Ecco un semplice esempio:

```
unsigned int f(unsigned int a)
```

```
{
    return a*8;
};
```

La moltiplicazione per 8 è stata rimpiazzata con 3 istruzioni di addizione, che fanno la stessa cosa. Apparentemente, l'ottimizzatore di MSVC ha deciso che questo codice potrebbe essere più veloce.

Listing 1.194: Con ottimizzazione MSVC 2010

```
_TEXT    SEGMENT
_a$ = 8      ; size = 4
_f        PROC
            mov     eax, DWORD PTR _a$[esp-4]
            add     eax, eax
            add     eax, eax
            add     eax, eax
            ret     0
_f        ENDP
_TEXT     ENDS
END
```

Moltiplicare usando "shift"

Le istruzioni di moltiplicazione e divisione con numeri che sono potenze di 2 sono spesso rimpiazzate con istruzioni "shift".

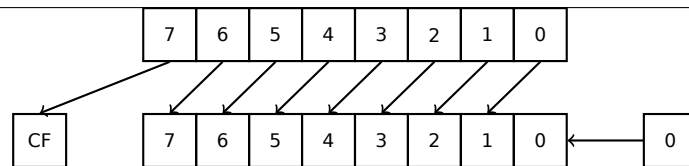
```
unsigned int f(unsigned int a)
{
    return a*4;
};
```

Listing 1.195: Senza ottimizzazione MSVC 2010

```
_a$ = 8      ; size = 4
_f        PROC
            push    ebp
            mov     ebp, esp
            mov     eax, DWORD PTR _a$[ebp]
            shl     eax, 2
            pop     ebp
            ret     0
_f        ENDP
```

Moltiplicare per 4, significa semplicemente traslare il numero a sinistra di 2 bit e inserire due bit zero a destra (ultimi 2 bit). Esattamente come moltiplicare 3 per 100 —dobbiamo solo aggiungere due zeri a destra.

Questo è il funzionamento dell'istruzione "shift" a sinistra:



I bit aggiunti a destra sono sempre zeri.

Moltiplicazione per 4 in ARM:

Listing 1.196: Senza ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

```
f PROC
    LSL    r0,r0,#2
    BX     lr
ENDP
```

Moltiplicazione per 4 in MIPS:

Listing 1.197: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```
jr      $ra
sll     $v0, $a0, 2 ; branch delay slot
```

SLL corrisponde a «Shift Left Logical».

Moltiplicare usando shift, sottrazioni e addizioni

È anche possibile eliminare l'operazione di moltiplicazione quando si moltiplica per numeri come 7 o 17 utilizzando nuovamente lo shift. La matematica utilizzata è relativamente semplice.

32-bit

```
#include <stdint.h>

int f1(int a)
{
    return a*7;
};

int f2(int a)
{
    return a*28;
};

int f3(int a)
{
    return a*17;
};
```

x86

Listing 1.198: Con ottimizzazione MSVC 2012

```

; a*7
_a$ = 8
_f1 PROC
    mov     ecx, DWORD PTR _a$[esp-4]
; ECX=a
    lea     eax, DWORD PTR [ecx*8]
; EAX=ECX*8
    sub     eax, ecx
; EAX=EAX-ECX=ECX*8-ECX=ECX*7=a*7
    ret     0
_f1 ENDP

; a*28
_a$ = 8
_f2 PROC
    mov     ecx, DWORD PTR _a$[esp-4]
; ECX=a
    lea     eax, DWORD PTR [ecx*8]
; EAX=ECX*8
    sub     eax, ecx
; EAX=EAX-ECX=ECX*8-ECX=ECX*7=a*7
    shl     eax, 2
; EAX=EAX<<2=(a*7)*4=a*28
    ret     0
_f2 ENDP

; a*17
_a$ = 8
_f3 PROC
    mov     eax, DWORD PTR _a$[esp-4]
; EAX=a
    shl     eax, 4
; EAX=EAX<<4=EAX*16=a*16
    add     eax, DWORD PTR _a$[esp-4]
; EAX=EAX+a=a*16+a=a*17
    ret     0
_f3 ENDP

```

ARM

Keil in modalità ARM sfrutta i modificatori dello shift del secondo operando:

Listing 1.199: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

```

; a*7
||f1|| PROC
    RSB     r0,r0,r0,LSL #3
; R0=R0<<3-R0=R0*8-R0=a*8-a=a*7

```

```

        BX        lr
    ENDP

; a*28
||f2|| PROC
    RSB          r0,r0,r0,LSL #3
; R0=R0<<3-R0=R0*8-R0=a*8-a=a*7
    LSL          r0,r0,#2
; R0=R0<<2=R0*4=a*7*4=a*28
    BX          lr
    ENDP

; a*17
||f3|| PROC
    ADD          r0,r0,r0,LSL #4
; R0=R0+R0<<4=R0+R0*16=R0*17=a*17
    BX          lr
    ENDP

```

Tali modificatori non sono presenti in modalità Thumb. Non si può nemmeno ottimizzare f2():

Listing 1.200: Con ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità Thumb)

```

; a*7
||f1|| PROC
    LSL          r1,r0,#3
; R1=R0<<3=a<<3=a*8
    SUBS         r0,r1,r0
; R0=R1-R0=a*8-a=a*7
    BX          lr
    ENDP

; a*28
||f2|| PROC
    MOVS         r1,#0x1c ; 28
; R1=28
    MULS         r0,r1,r0
; R0=R1*R0=28*a
    BX          lr
    ENDP

; a*17
||f3|| PROC
    LSL          r1,r0,#4
; R1=R0<<4=R0*16=a*16
    ADDS         r0,r0,r1
; R0=R0+R1=a+a*16=a*17
    BX          lr
    ENDP

```

MIPS

Listing 1.201: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```

_f1:
    sll    $v0, $a0, 3
; $v0 = $a0<<3 = $a0*8
    jr     $ra
    subu   $v0, $a0 ; branch delay slot
; $v0 = $v0-$a0 = $a0*8-$a0 = $a0*7

_f2:
    sll    $v0, $a0, 5
; $v0 = $a0<<5 = $a0*32
    sll    $a0, 2
; $a0 = $a0<<2 = $a0*4
    jr     $ra
    subu   $v0, $a0 ; branch delay slot
; $v0 = $a0*32-$a0*4 = $a0*28

_f3:
    sll    $v0, $a0, 4
; $v0 = $a0<<4 = $a0*16
    jr     $ra
    addu   $v0, $a0 ; branch delay slot
; $v0 = $a0*16+$a0 = $a0*17

```

64-bit

```

#include <stdint.h>

int64_t f1(int64_t a)
{
    return a*7;
};

int64_t f2(int64_t a)
{
    return a*28;
};

int64_t f3(int64_t a)
{
    return a*17;
};

```

x64

Listing 1.202: Con ottimizzazione MSVC 2012

```

; a*7
f1:

```

```

        lea    rax, [0+rdi*8]
; RAX=RDI*8=a*8
        sub    rax, rdi
; RAX=RAX-RDI=a*8-a=a*7
        ret

; a*28
f2:
        lea    rax, [0+rdi*4]
; RAX=RDI*4=a*4
        sal    rdi, 5
; RDI=RDI<<5=RDI*32=a*32
        sub    rdi, rax
; RDI=RDI-RAX=a*32-a*4=a*28
        mov    rax, rdi
        ret

; a*17
f3:
        mov    rax, rdi
        sal    rax, 4
; RAX=RAX<<4=a*16
        add    rax, rdi
; RAX=a*16+a=a*17
        ret

```

ARM64

Anche GCC 4.9 per ARM64 è conciso, grazie ai modificatori dello "shift":

Listing 1.203: Con ottimizzazione GCC (Linaro) 4.9 ARM64

```

; a*7
f1:
        lsl    x1, x0, 3
; X1=X0<<3=X0*8=a*8
        sub    x0, x1, x0
; X0=X1-X0=a*8-a=a*7
        ret

; a*28
f2:
        lsl    x1, x0, 5
; X1=X0<<5=a*32
        sub    x0, x1, x0, lsl 2
; X0=X1-X0<<2=a*32-a<<2=a*32-a*4=a*28
        ret

; a*17
f3:
        add    x0, x0, x0, lsl 4
; X0=X0+X0<<4=a+a*16=a*17

```

ret

Algoritmo di moltiplicazione di Booth

Ci fu un tempo in cui i computer erano grossi e costosi, per molti di essi mancava il supporto hardware per l'operazione di moltiplicazione nella CPU, come Data General Nova. E quando serviva l'operazione di moltiplicazione, veniva fornita a livello software, per esempio, utilizzando l'algoritmo di moltiplicazione di Booth. Esso è un algoritmo di moltiplicazione che usa solamente addizioni e shift.

Ciò che i moderni compilatori ottimizzati fanno, è diverso, ma lo scopo (moltiplicare) e le risorse (operazioni veloci) sono le stesse.

1.24.2 Divisioni

Dividere usando gli shift

Esempio di divisione per 4:

```
unsigned int f(unsigned int a)
{
    return a/4;
};
```

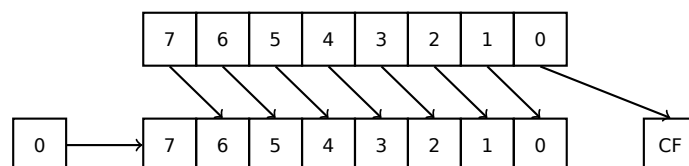
Otteniamo (MSVC 2010):

Listing 1.204: MSVC 2010

```
_a$ = 8      ; size = 4
_f PROC
    mov     eax, DWORD PTR _a$[esp-4]
    shr     eax, 2
    ret     0
_f ENDP
```

L'istruzione SHR (*SH*ift *R*ight) in questo esempio fa scorrere un numero di 2 bit a destra. I due bit liberati a sinistra (e.g., i due bit più significativi) sono impostati a zero. I due bit meno significativi sono scartati. Infatti, questi due bit scartati sono il resto della divisione.

L'istruzione SHR funziona proprio come SHL, ma nella direzione opposta.



E' semplice da capire se immaginiamo il numero 23 nel sistema numerico decimale. 23 può essere facilmente diviso per 10, semplicemente scartando l'ultima cifra (3—resto divisione). 2 rimane dopo l'operazione come [quoziente](#).

Quindi il resto viene scartato, ma questo è OK, lavoriamo comunque su valori interi, che non sono [numeri reali](#)!

Divisione per 4 in ARM:

Listing 1.205: Senza ottimizzazione Keil 6/2013 (Modalità ARM)

```
f PROC
    LSR    r0,r0,#2
    BX     lr
ENDP
```

Divisione per 4 in MIPS:

Listing 1.206: Con ottimizzazione GCC 4.4.5 (IDA)

```
jr    $ra
srl   $v0, $a0, 2 ; branch delay slot
```

L'istruzione SRL corrisponde a «Shift Right Logical».

1.24.3 Esercizio

- <http://challenges.re/59>

1.25 Array

1.25.1

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    int a[20];
    int i;

    for (i=0; i<20; i++)
        a[i]=i*2;

    for (i=0; i<20; i++)
        printf ("a[%d]=%d\n", i, a[i]);

    return 0;
};
```

1.25.2

1.25.3 Esercizi

- <http://challenges.re/62>

-
- <http://challenges.re/63>
 - <http://challenges.re/64>
 - <http://challenges.re/65>
 - <http://challenges.re/66>

1.26 Strutture

1.26.1 UNIX: struct tm

1.26.2

1.26.3 Esercizi

- <http://challenges.re/71>
- <http://challenges.re/72>

1.27

1.27.1

Capitolo 2

Italian text placeholder

2.1 Endianness

Con il termine endianness si intende un modo di rappresentare i dati in memoria.

2.1.1 Big-endian

Nelle architetture big-endian il valore 0x12345678 viene rappresentato in memoria come:

Indirizzo in memoria	Valore in byte
+0	0x12
+1	0x34
+2	0x56
+3	0x78

Tra le CPU big-endian ricordiamo Motorola 68k e IBM POWER.

2.1.2 Little-endian

Nelle architetture little-endian il valore 0x12345678 viene rappresentato in memoria come:

Indirizzo in memoria	Valore in byte
+0	0x78
+1	0x56
+2	0x34
+3	0x12

Tra le CPU aventi architettura little-endian ricordiamo l'Intel x86. Un importante esempio di utilizzo di endianness little-endian si trova in questo libro: ?? on page ??.

2.1.3 Esempio

Si consideri un sistema Linux installato su un'architettura MIPS big-endian e disponibile in QEMU ¹.

E si compili il seguente semplice esempio:

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    int v;

    v=123;

    printf ("%02X %02X %02X %02X\n",
           *(char*)&v,
           (((char*)&v)+1),
           (((char*)&v)+2),
           (((char*)&v)+3));
};
```

Eseguendolo si ottiene:

```
root@debian-mips:~# ./a.out
00 00 00 7B
```

Il risultato è 0x7B, ovvero 123 in decimale. Nelle architetture little-endian il valore 7B verrà memorizzato nel primo byte di memoria (è possibile verificarlo su x86 o x86-64), mentre in questo caso viene memorizzato nell'ultimo byte, poiché il byte più alto viene memorizzato per primo.

Ecco perché esistono diverse distribuzioni Linux per architetture MIPS («mips» (big-endian) e «mipsel» (little-endian)). Non è possibile che un file binario compilato per una specifica endianness possa essere eseguito su un OS avente diversa endianness.

Si può trovare un altro esempio di architettura MIPS big-endian in questo libro: ?? on page ??.

2.1.4 Bi-endian

Esistono poi alcune CPU che possono cambiare tra diverse endianness. Tra queste vi sono ARM, PowerPC, SPARC, MIPS, IA64², etc.

2.1.5 Converting data

L'istruzione BSWAP può essere usata per la conversione di endianness.

I pacchetti di rete TCP/IP usano la convenzione big-endian quindi un programma che lavora su un'architettura little-endian deve convertire i dati ricevuti. Per questo motivo le funzioni `htonl()` e `htons()` sono tipicamente usate per questo scopo.

¹Scaricabile qui: <https://people.debian.org/~aurel32/qemu/mips/>

²Intel Architecture 64 (Itanium)

Nel mondo TCP/IP il big-endian viene anche chiamato «network byte order», mentre il byte order sul computer viene chiamato «host byte order». L'«host byte order» è little-endian sulle architetture Intel x86 e altre architetture little-endian, ma è big-endian su architettura IBM POWER, quindi le funzioni `htonl()` e `htons()` non cambiano l'ordinamento dei byte in quest'ultima.

2.2 Memoria

Esistono 3 tipi principali di memoria:

- Memoria globale **AKA** «allocazione statica di memoria». L'allocazione di memoria non avviene esplicitamente ma semplicemente dichiarando variabili e/o arrays globalmente. Queste sono variabili globali e risiedono nei segmenti di dato o delle costanti. Essendo variabili globali sono considerate un **anti-pattern**. L'allocazione statica non è conveniente per buffer o arrays poiché devono avere una dimensione fissa e nota a priori. I buffer overflows che possono verificarsi in questa porzione di memoria solitamente sovrascrivono variabili o buffer che risiedono in locazioni contigue a questi in memoria. Un possibile esempio viene riportato in questo libro: [1.12.3 on page 102](#).
- Stack **AKA** «allocazione sullo stack». L'allocazione avviene semplicemente dichiarando variabili e/o arrays localmente all'interno delle funzioni. Infatti si tratta solitamente di variabili locali ad una funzione. Alcune volte queste variabili locali sono disponibili in seguito ad una catena di chiamate a funzione (alle funzioni **chiamate** se la funzione chiamante passa un puntatore ad una variabile ad una funzione **chiamata** che deve essere eseguita). L'allocazione e la deallocazione sono molto veloci poiché lo **SP!** viene semplicemente riposizionato.

Nonostante questo, l'allocazione e la deallocazione non sono convenienti per buffer e/o arrays dal momento che la dimensione del buffer deve essere fissa, a meno che venga utilizzata `alloca()` ([1.9.2 on page 48](#)) o un array di lunghezza variabile. I buffer overflows solitamente sovrascrivono importanti strutture dati sullo stack: [1.25.2 on page 279](#).

- Heap **AKA** «allocazione dinamica di memoria». L'allocazione e la deallocazione avvengono chiamando `malloc()/free()` oppure `new/delete` in C++. Questo è il metodo più conveniente poiché la dimensione dell'area di memoria può essere decisa a runtime.

Il resizing della memoria è possibile (utilizzando `realloc()`), ma può rivelarsi lento. Questo è il metodo più lento per allocare memoria: l'allocatore di memoria deve supportare e aggiornare tutte le strutture di controllo mentre esegue l'allocazione e la deallocazione. I buffer overflows solitamente sovrascrivono queste strutture. L'allocazione dinamica di memoria è anche fonte di possibili memory leak poiché ogni blocco di memoria deve essere deallocato esplicitamente. Tuttavia gli sviluppatori potrebbero dimenticarsi di farlo o eseguirlo in modo errato.

Un altro problema è il cosiddetto «use after free»—ovvero usare un blocco di memoria dopo che la `free()` è stata chiamata per rilasciarlo, uno scenario che può rivelarsi molto pericoloso. Alcuni esempi di riferimento possono essere trovati in questo libro: ?? on page ??.

2.3 CPU

2.3.1 Branch predictors

Alcuni compilatori più recenti provano a non utilizzare le istruzioni di salto condizionato. Questo avviene poiché il branch predictor non è sempre perfetto quindi il compilatore prova ad evitare l'uso di salti condizionali se è possibile. Gli esempi possono essere trovati in questi libri: [1.18.1 on page 174](#), [1.18.3 on page 184](#), ?? on page ??.

I processori ARM e x86 forniscono alcune istruzioni condizionali nel loro instruction set (ADRcc nel caso di ARM e CMOVcc nel caso di x86).

2.3.2 Data dependencies

Le attuali CPU sono in grado di eseguire istruzioni simultaneamente (OOE³), a patto che i risultati di un'istruzione in un gruppo non influenzino l'esecuzione delle altre. Per questo il compilatore prova ad utilizzare istruzioni che influenzino al minimo lo stato della CPU.

Questo è il motivo per cui l'istruzione LEA è così popolare, poiché non modifica i flag della CPU a differenza di altre istruzioni aritmetiche.

³Out-of-Order Execution

Capitolo 3

Capitolo 4

Java

4.1 Java

4.1.1 Introduzione

Esistono alcuni noti decompilatori per Java (o bytecode acJVM in generale). ¹.

Il motivo è che la decompilazione del bytecode-JVM² è più semplice che per un codice di più basso livello per architetture x86:

- C'è molta più informazione riguardo i tipi di dato.
- Il modello di memoria della acJVM è molto più rigoroso e delineato.
- Il compilatore Java non esegue alcuna ottimizzazione (la JVM JIT³ la esegue in fase di runtime), quindi i bytecode nei file relativi alle classi sono solitamente molto più leggibili.

Quando può essere utile la conoscenza della acJVM?

- Patching approssimativo di classi senza la necessità di ricompilare il risultato del decompilatore.
- Analisi del codice nascosto.
- Realizzazione del proprio obfuscator.
- Realizzazione di un compilatore generatore di codice (back-end) orientata alla JVM (come Scala, Clojure, etc. ⁴).

¹Ad esempio, JAD: <http://varaneckas.com/jad/>

²Java Virtual Machine

³Just-In-Time compilation

⁴Elenco completo: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_JVM_languages

Partiamo con alcuni semplici frammenti di codice. JDK 1.7 è usato ovunque, se non diversamente indicato.

Questo è il comando usato per decompilare le classi ovunque:

```
javap -c -verbose.
```

Questo è il libro che ho usato mentre preparavo tutti gli esempi: [Tim Lindholm, Frank Yellin, Gilad Bracha, Alex Buckley, *The Java(R) Virtual Machine Specification / Java SE 7 Edition*] ⁵.

4.1.2 Ritornare un valore

Le funzioni che semplicemente ritornano indietro un qualche valore sono probabilmente tra le più semplici in Java.

Naturalmente, quando parliamo di funzioni in Java facciamo riferimento implicito ai metodi di una classe, non essendo possibile definire funzioni «libere», nel senso comune del termine.

Infatti, in Java ogni metodo (statico o dinamico che sia) è sempre definito in relazione ad una classe, poiché non è possibile fare diversamente.

Ad ogni modo, per semplicità, faremo uso del termine «funzione».

```
public class ret
{
    public static int main(String[] args)
    {
        return 0;
    }
}
```

Per compilare il file si esegue:

```
javac ret.java
```

...e possiamo decompilarne il risultato utilizzando una «utility» standard di Java:

```
javap -c -verbose ret.class
```

Ecco ciò che si ottiene dalla decompilazione:

Listing 4.1: JDK 1.7 (excerpt)

```
public static int main(java.lang.String[]);
  flags: ACC_PUBLIC, ACC_STATIC
  Code:
    stack=1, locals=1, args_size=1
      0: iconst_0
      1: ireturn
```

⁵Italian text placeholder <https://docs.oracle.com/javase/specs/jvms/se7/jvms7.pdf>; <http://docs.oracle.com/javase/specs/jvms/se7/html/>

L'utilizzo della costante 0 è particolarmente frequente nella programmazione, per questo esiste un'istruzione apposita `iconst_0`, di un byte, che carica la costante nello «stack».

⁶.

Similmente, esistono altre istruzioni apposite per caricare costanti nello stack: `iconst_1` (che imposta 1), `iconst_2`, etc., fino a `iconst_5`.

E c'è un'istruzione `iconst_m1` apposita per caricare la costante -1.

Nella JVM, lo «stack» viene impiegato per il passaggio dei dati alle funzioni al momento della loro invocazione, e per consentire a queste ultime di ritornare a loro volta dei dati indietro. Quindi, osservando il codice dell'esempio precedente, la funzione `iconst_0` carica il valore 0 nello «stack». `ireturn` ritorna indietro un intero (*i* come prefisso nel nome della istruzione significa *integer*), prelevandolo dalla testa dello stack [TOS](#)⁷.

Riscriviamo l'esempio precedente in modo da far ritornare indietro il valore 1234 alla funzione:

```
public class ret
{
    public static int main(String[] args)
    {
        return 1234;
    }
}
```

...quello che otteniamo ora dalla decompilazione è:

Listing 4.2: JDK 1.7 (excerpt)

```
public static int main(java.lang.String[]);
  flags: ACC_PUBLIC, ACC_STATIC
  Code:
    stack=1, locals=1, args_size=1
     0: sipush    1234
     3: ireturn
```

`sipush` (*short integer*) imposta il numero 1234 nello «stack». *short* come prefisso nel nome della istruzione indica il fatto di lavorare con dati a 16-bit e infatti, il numero 1234 può essere rappresentato con 16-bit.

Cosa accade per valori più grandi?

```
public class ret
{
    public static int main(String[] args)
    {
        return 12345678;
    }
}
```

⁶Come in in MIPS, dove esiste un registro separato per la costante zero: [1.5.4 on page 35](#).

⁷Top of Stack

Listing 4.3: Constant pool

```
...
#2 = Integer      12345678
...
```

```
public static int main(java.lang.String[]);
  flags: ACC_PUBLIC, ACC_STATIC
  Code:
    stack=1, locals=1, args_size=1
      0: ldc      #2          // int 12345678
      2: ireturn
```

Nella JVM non è possibile codificare numeri a 32-bit in un'istruzione «opcode», i progettisti non hanno lasciato questa possibilità.

Di conseguenza, il numero 12345678 che deve essere rappresentato con 32-bit viene registrato in uno spazio specifico detto «constant pool», diciamo che questo spazio sia una sorta di libreria delle costanti più frequenti (inclusi i tipi di dati stringa, oggetti, etc.).

Questa modalità di gestire le costanti non si riscontra solo nella JVM.

Anche MIPS, ARM ed altre CPUs RISC non permettono di codificare numeri di 32-bit in una istruzione «opcode» di 32-bit, di conseguenza il codice della CPU RISC (incluso MIPS e ARM) si trova a dover codificare il valore di una costante in più passi, a meno di poter utilizzare un «segmento dati»: ?? on page ??, ?? on page ??.

Tradizionalmente il codice MIPS dispone anche di un «constant pool» chiamato «literal pool», dove i segmenti sono chiamati «lit4» (per i valori costanti a virgola mobile indirizzati con 32-bit in precisione singola) e «lit8» (per i valori costanti a virgola mobile indirizzati con 64-bit in precisione doppia).

Proviamo ora con altri tipi di dati!

Booleani:

```
public class ret
{
    public static boolean main(String[] args)
    {
        return true;
    }
}
```

```
public static boolean main(java.lang.String[]);
  flags: ACC_PUBLIC, ACC_STATIC
  Code:
    stack=1, locals=1, args_size=1
      0: iconst_1
      1: ireturn
```

Il bytecode prodotto non è diverso da quello che si otterrebbe per una funzione che semplicemente ritorna indietro il valore numerico 1.

Gli spazi da 32-bit per i dati nello stack sono utilizzati anche per i valori booleani, come nel C/C++.

Tuttavia il valore booleano che la funzione ritorna non può essere utilizzato come valore intero o viceversa — le informazioni sui tipi di dati dichiarati sono registrati nel file della classe e verificati a runtime.

La stessa storia vale per indirizzare valori numerici con 16-bit *short*:

```
public class ret
{
    public static short main(String[] args)
    {
        return 1234;
    }
}
```

```
public static short main(java.lang.String[]);
flags: ACC_PUBLIC, ACC_STATIC
Code:
    stack=1, locals=1, args_size=1
     0: sipush      1234
     3: ireturn
```

...e *char*!

```
public class ret
{
    public static char main(String[] args)
    {
        return 'A';
    }
}
```

```
public static char main(java.lang.String[]);
flags: ACC_PUBLIC, ACC_STATIC
Code:
    stack=1, locals=1, args_size=1
     0: bipush        65
     2: ireturn
```

bipush significa «caricare un byte nello stack». In Java un *char* viene indirizzato con la codifica UTF-16 a 16-bit, ed è equivalente a *short*. Il codice ASCII del carattere «A» è 65, per cui l'istruzione può caricarlo nello stack come singolo byte.

Proviamo ora con un *byte*:

```
public class retc
{
    public static byte main(String[] args)
    {
        return 123;
    }
}
```

```

public static byte main(java.lang.String[]);
  flags: ACC_PUBLIC, ACC_STATIC
  Code:
    stack=1, locals=1, args_size=1
      0: bipush      123
      2: ireturn

```

Ci si può chiedere: perché scegliere il tipo dati a 16-bit *short*, quando poi internamente viene gestito con numeri interi a 32-bit?

Perché usare il tipo di dato specifico *char*, quando quest'ultimo è equivalente al tipo *short*?

La ragione è nella necessità di controllo sul tipo di dati dichiarati e per una questione di leggibilità del codice.

Se da una parte il tipo di dato *char* è essenzialmente lo stesso di *short*, dall'altra ci permette di intuire facilmente che si tratta di uno spazio che ospita un carattere UTF-16 e non un qualsiasi valore intero.

Quando usiamo *short* per una variabile, rendiamo esplicito a chiunque come i possibili valori siano limitati da 16 bit.

Così è una buona prassi usare il tipo di dato *boolean* quando necessario, piuttosto che *int* come in stile C.

Esiste in Java anche il tipo di dato intero a 64-bit:

```

public class ret3
{
    public static long main(String[] args)
    {
        return 1234567890123456789L;
    }
}

```

Listing 4.4: Constant pool

```

...
  #2 = Long          1234567890123456789L
...

```

```

public static long main(java.lang.String[]);
  flags: ACC_PUBLIC, ACC_STATIC
  Code:
    stack=2, locals=1, args_size=1
      0: ldc2_w      #2          // long 1234567890123456789L
      3: lreturn

```

Anche il tipo intero a 64-bit viene registrato nel («constant pool»): *ldc2_w* è l'istruzione che carica il valore nello stack e *lreturn* (*long return*) lo preleva dallo stack per ritornarlo indietro.

L'istruzione `ldc2_w` è anche impiegata per caricare nello stack numeri in virgola mobile con precisione doppia (appunto indirizzati con 64 bit) dal «constant pool»:

```
public class ret
{
    public static double main(String[] args)
    {
        return 123.456d;
    }
}
```

Listing 4.5: Constant pool

```
...
#2 = Double          123.456d
...
```

```
public static double main(java.lang.String[]);
  flags: ACC_PUBLIC, ACC_STATIC
  Code:
    stack=2, locals=1, args_size=1
       0: ldc2_w      #2          // double 123.456d
       3: dreturn
```

`dreturn` significa «return double».

Infine abbiamo i numeri con virgola mobile e precisione singola:

```
public class ret
{
    public static float main(String[] args)
    {
        return 123.456f;
    }
}
```

Listing 4.6: Constant pool

```
...
#2 = Float           123.456f
...
```

```
public static float main(java.lang.String[]);
  flags: ACC_PUBLIC, ACC_STATIC
  Code:
    stack=1, locals=1, args_size=1
       0: ldc      #2          // float 123.456f
       2: freturn
```

Notare come l'istruzione `ldc` è la stessa usata per caricare nello stack numeri interi a 32-bit dal «constant pool».

`freturn` significa «return float».

Cosa accadrebbe nel caso di una funzione che non ritorna indietro alcun dato?

```
public class ret
{
    public static void main(String[] args)
    {
        return;
    }
}
```

```
public static void main(java.lang.String[]);
  flags: ACC_PUBLIC, ACC_STATIC
  Code:
    stack=0, locals=1, args_size=1
      0: return
```

Notare come l'istruzione `return` sia impiegata per restituire il controllo al termine dell'esecuzione di una funzione che non ritorna indietro alcun dato.

Quanto detto fino ad ora rende facile dedurre il tipo di dato che una funzione (o metodo) ritorna, semplicemente osservando l'ultima istruzione.

4.1.3 Semplici funzioni di calcolo

Continuiamo con delle semplici funzioni di calcolo.

```
public class calc
{
    public static int half(int a)
    {
        return a/2;
    }
}
```

Ecco il risultato, quando ad essere impiegata è l'istruzione `iconst_2`:

```
public static int half(int);
  flags: ACC_PUBLIC, ACC_STATIC
  Code:
    stack=2, locals=1, args_size=1
      0: iload_0
      1: iconst_2
      2: idiv
      3: ireturn
```

`iload_0` prende il primo argomento passato alla funzione (il dato nella posizione 0) e lo carica nello stack.

`iconst_2` carica nello stack il valore 2. Al termine dell'esecuzione di queste due istruzioni, lo stato dello stack è il seguente:

```
+---+
TOS ->| 2 |
+---+
```

```

| a |
+---+

```

`idiv` prende i primi due valori in testa allo stack [TOS](#), divide uno per l'altro e carica il risultato in testa allo stack [TOS](#):

```

+-----+
TOS ->| result |
+-----+

```

`ireturn` ritorna indietro il primo valore trovato in testa allo stack.

Procediamo ora con numeri in virgola mobile e precisione doppia:

```

public class calc
{
    public static double half_double(double a)
    {
        return a/2.0;
    }
}

```

Listing 4.7: Constant pool

```

...
#2 = Double          2.0d
...

```

```

public static double half_double(double);
flags: ACC_PUBLIC, ACC_STATIC
Code:
    stack=4, locals=2, args_size=1
     0: dload_0
     1: ldc2_w      #2          // double 2.0d
     4: ddiv
     5: dreturn

```

Il risultato delle decompilazione è simile al caso precedente, ma qui viene utilizzata l'istruzione `ldc2_w` per caricare nello stack il valore 2.0, a sua volta preso dal «constant pool».

Inoltre, le altre tre istruzioni hanno il prefisso *d*, ad indicare come esse lavorino con il tipo *double*.

Vediamo adesso delle funzioni con due argomenti:

```

public class calc
{
    public static int sum(int a, int b)
    {
        return a+b;
    }
}

```

```

public static int sum(int, int);
  flags: ACC_PUBLIC, ACC_STATIC
  Code:
    stack=2, locals=2, args_size=2
      0: iload_0
      1: iload_1
      2: iadd
      3: ireturn

```

`iload_0` carica il primo argomento (a), `iload_1`—il secondo (b).

Di seguito lo stato dello stack al termine di entrambe le istruzioni:

```

      +---+
TOS ->| b |
      +---+
      | a |
      +---+

```

`iadd` somma i due valori e carica il risultato in testa allo stack [TOS](#):

```

      +-----+
TOS ->| result |
      +-----+

```

Estendiamo l'esempio al tipo di dato *long*:

```

    public static long lsum(long a, long b)
    {
        return a+b;
    }

```

...abbiamo:

```

public static long lsum(long, long);
  flags: ACC_PUBLIC, ACC_STATIC
  Code:
    stack=4, locals=4, args_size=2
      0: lload_0
      1: lload_2
      2: ladd
      3: lreturn

```

La seconda istruzione `lload` prende l'argomento che si trova nello spazio dati in posizione 2.

Ciò accade poiché il tipo *long* occupa 64-bit, ossia due spazi da 32-bit, per cui la posizione del secondo argomento è 2 e non 1.

Ecco un esempio leggermente più complesso:

```

public class calc
{

```

```

    public static int mult_add(int a, int b, int c)
    {
        return a*b+c;
    }
}

```

```

public static int mult_add(int, int, int);
flags: ACC_PUBLIC, ACC_STATIC
Code:
    stack=2, locals=3, args_size=3
     0: iload_0
     1: iload_1
     2: imul
     3: iload_2
     4: iadd
     5: ireturn

```

Il primo passo è una moltiplicazione. Il prodotto viene caricato in testa allo stack [TOS](#):

```

+-----+
TOS ->| product |
+-----+

```

iload_2 carica il terzo argomento (c) nello stack:

```

+-----+
TOS ->|   c   |
+-----+
      | product |
+-----+

```

L'istruzione iadd somma i due valori prelevati dalla testa dello stack.

4.1.4

4.1.5

4.1.6

Capitolo 5

5.1 Linux

5.1.1 *LD_PRELOAD* hack in Linux

Questo ci permette di caricare le nostre librerie dinamiche prima delle altre, anche quelle del sistema, come `libc.so.6`.

Questo a sua volta ci permette di «sostituire» la funzione che abbiamo scritto con quella nelle librerie del sistema. Ad esempio, è facile intercettare tutte le chiamate da `time()`, `read()`, `write()`, etc.

Proviamo ad ingannare l'utility *uptime*. Come sappiamo, essa ci dice da quanto tempo il computer sta lavorando. Con l'aiuto di *strace*([6.2.3 on page 303](#)), è possibile osservare che l'utility prende questa informazione dal file `/proc/uptime`:

```
$ strace uptime
...
open("/proc/uptime", O_RDONLY)      = 3
lseek(3, 0, SEEK_SET)               = 0
read(3, "416166.86 414629.38\n", 2047) = 20
...
```

Questo non è un file presente su disco ma uno virtuale, il suo contenuto è generato al volo nel Linux kernel. Contiene due numeri:

```
$ cat /proc/uptime
416690.91 415152.03
```

Da Wikipedia possiamo imparare che ¹:

Il primo numero è il numero totale di secondi che il sistema è acceso.
Il secondo numero è la quantità di tempo che la macchina è rimasta in attesa (idle), in secondi.

¹<https://en.wikipedia.org/wiki/Uptime>

Proviamo a scrivere la nostra libreria dinamica con le funzioni `open()`, `read()`, e `close()`.

Come prima cosa, la funzione `open()` confronterà il nome del file da aprire con quello che ci serve, se l'esito è positivo, scriverà il descrittore del file aperto.

In secondo luogo, la funzione `read()`, se chiamata per tale descrittore del file, sostituirà l'output, altrimenti chiamerà la funzione `read()` originale dalla libreria `libc.so.6`. E quindi la funzione `close()`, chiuderà il file che abbiamo utilizzato.

Useremo le funzioni `dlopen()` e `dlsym()` per determinare l'indirizzo della funzione originale in `libc.so.6`. Dobbiamo usare queste funzioni per passare il controllo alla «vera» funzione.

D'altra parte, se intercettiamo la chiamata a `strcmp()` e monitoriamo ogni confronto tra stringhe nel programma, dovremmo implementare una nostra versione di `strcmp()`, senza usare la funzione originale.²

```
#include <stdio.h>
#include <stdarg.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdbool.h>
#include <unistd.h>
#include <dlfcn.h>
#include <string.h>

void *libc_handle = NULL;
int (*open_ptr)(const char *, int) = NULL;
int (*close_ptr)(int) = NULL;
ssize_t (*read_ptr)(int, void*, size_t) = NULL;

bool initied = false;

_Noreturn void die (const char * fmt, ...)
{
    va_list va;
    va_start (va, fmt);

    vprintf (fmt, va);
    exit(0);
};

static void find_original_functions ()
{
    if (initied)
        return;

    libc_handle = dlopen ("libc.so.6", RTLD_LAZY);
    if (!libc_handle)
        die ("can't open libc.so.6\n");

    open_ptr = dlsym (libc_handle, "open");
```

²Ad esempio, in questo articolo trovi quanto facilmente `strcmp()` riesce ad intercettare le chiamate ³written by Yong Huang

```

        if (open_ptr==NULL)
            die ("can't find open()\n");

        close_ptr = dlsym (libc_handle, "close");
        if (close_ptr==NULL)
            die ("can't find close()\n");

        read_ptr = dlsym (libc_handle, "read");
        if (read_ptr==NULL)
            die ("can't find read()\n");

        initied = true;
    }

static int opened_fd=0;

int open(const char *pathname, int flags)
{
    find_original_functions();

    int fd=(*open_ptr)(pathname, flags);
    if (strcmp(pathname, "/proc/uptime")==0)
        opened_fd=fd; // that's our file! record its file descriptor
    else
        opened_fd=0;
    return fd;
};

int close(int fd)
{
    find_original_functions();

    if (fd==opened_fd)
        opened_fd=0; // the file is not opened anymore
    return (*close_ptr)(fd);
};

ssize_t read(int fd, void *buf, size_t count)
{
    find_original_functions();

    if (opened_fd!=0 && fd==opened_fd)
    {
        // that's our file!
        return snprintf (buf, count, "%d %d", 0x7fffffff, 0x7fffffff)+1;
    };
    // not our file, go to real read() function
    return (*read_ptr)(fd, buf, count);
};

```

([Source code](#))

Compiliamolo con librerie dinamiche comuni:

```
gcc -fpic -shared -Wall -o fool_uptime.so fool_uptime.c -ldl
```

Avviamo *uptime* caricando prima le nostre librerie:

```
LD_PRELOAD=`pwd`/fool_uptime.so uptime
```

Osserviamo che:

```
01:23:02 up 24855 days,  3:14,  3 users,  load average: 0.00, 0.01, 0.05
```

Se la variabile d'ambiente *LD_PRELOAD* punta sempre al nome del file ed al percorso della nostra libreria, deve essere per forza avviato per tutti i programmi che andremo ad avviare.

Altri esempi:

- Semplice intercettazione della funzione `strcmp()` (Yong Huang) https://yurichev.com/mirrors/LD_PRELOAD/Yong%20Huang%20LD_PRELOAD.txt
- Kevin Pulo—Fun with LD_PRELOAD. Molti esempio ed idee. yurichev.com
- Funzioni che intercettano file, per la compressione/decompressione di file al volo (zlibc). <ftp://metalab.unc.edu/pub/Linux/libs/compression>

5.2 Windows NT

5.2.1 Windows SEH

SEH

[Matt Pietrek, *A Crash Course on the Depths of Win32™ Structured Exception Handling*, (1997)]⁴, [Igor Skochinsky, *Compiler Internals: Exceptions and RTTI*, (2012)]⁵.

⁴Italian text placeholder<http://www.microsoft.com/msj/0197/Exception/Exception.aspx>

⁵Italian text placeholder<http://yurichev.com/mirrors/RE/Recon-2012-Skochinsky-Compiler-Internals.pdf>

Capitolo 6

Strumenti

Ora che Dennis Yurichev ha reso questo libro free (libre), è un contributo a tutto il mondo della libera informazione ed educazione. Comunque, per il bene della nostra libertà, abbiamo bisogno di strumenti free (libre) per il reverse engineering in modo da rimpiazzare quelli proprietari descritti in questo libro.

Richard M. Stallman

6.1 Analisi di Binari

Strumenti da utilizzare senza eseguire nessun processo:

- (Free, open-source) *ent*¹: strumento per analizzare l'entropia. Leggi di più riguardo l'entropia: ?? on page ??.
- *Hiew*²: per piccole modifiche del codice dei file binari.
- (Free, open-source) *xxd* e *od*: standard UNIX utility per effettuare il dump nel formato desiderato.
- (Free, open-source) *strings*: strumento *NIX per cercare stringhe ASCII all'interno di file binari, eseguibili compresi. Sysinternals ha un'alternativa³ che supporta la stringhe con caratteri di tipo "wide" (UTF-16, ampiamente utilizzati in Windows).
- (Free, open-source) *Binwalk*⁴: analisi di immagini firmware.

¹<http://www.fourmilab.ch/random/>

²hiew.ru

³<https://technet.microsoft.com/en-us/sysinternals/strings>

⁴<http://binwalk.org/>

- (Free, open-source) *binary grep*: piccola utility per cercare una sequenza di byte in molti file, incluso file non eseguibili: [GitHub](#). C'è anche *rafind2* in *rada.re* allo stesso scopo.

6.1.1 Disassemblers

- *IDA*. Una versione più vecchia è liberamente disponibile per lo scaricamento ⁵. Elenco delle scorciatoie da tastiera: [.3.1 on page 316](#)
- *Binary Ninja*⁶
- (Free, open-source) *zynamics BinNavi*⁷
- (Free, open-source) *objdump*: semplice utility command-line per effettuare il dump e il disassembling.
- (Free, open-source) *readelf*⁸: dump delle informazioni dei file ELF.

6.1.2 Decompilers

C'è solo un decompiler conosciuto, pubblicamente disponibile e di elevata qualità per decompilare in C: *Hex-Rays*: hex-rays.com/products/decompiler/

Più informazioni su: ?? on page ??.

6.1.3 Comparazione Patch/diffing

Potresti voler utilizzare questi strumenti quando devi comparare la versione originale di un eseguibile con quella patchata, in modo da trovare cos'è stato patchato e perchè.

- (Free) *zynamics BinDiff*⁹
- (Free, open-source) *Diaphora*¹⁰

6.2 Analisi live

Strumenti da utilizzare per effettuare un'analisi live del sistema o di un processo in esecuzione.

6.2.1 Debuggers

- (Free) *OllYDbg*. Popolare win32 debugger¹¹. Elenco delle scorciatoie da tastiera: [.3.2 on page 317](#)

⁵hex-rays.com/products/ida/support/download_freeware.shtml

⁶<http://binary.ninja/>

⁷<https://www.zynamics.com/binnavi.html>

⁸<https://sourceware.org/binutils/docs/binutils/readelf.html>

⁹<https://www.zynamics.com/software.html>

¹⁰<https://github.com/joxeankoret/diaphora>

¹¹ollydbg.de

- L'autore di queste righe ha smesso di utilizzare un debugger dato che l'unica cosa di cui aveva bisogno era di trovare gli argomenti delle funzioni durante l'esecuzione o lo stato dei registri ad un determinato punto. Caricare un debugger ogni volta risultava essere non ottimale, perciò è nacque una nuova utility chiamata *tracer*. Funziona dalla linea di comando e permette di intercettare l'esecuzione di funzioni, impostare breakpoint in posizioni arbitrarie, leggere e modificare lo stato dei registri, ecc.

N.B.: *tracer* non sta evolvendo perchè è nato principalmente come strumento di dimostrazione per questo libro, non come strumento di ogni giorno.

*ltrace*¹⁸.

strace / dtruss

Mostra quali chiamate di sistema sono chiamate da un processo. (syscalls(?? on page ??))

```
# strace df -h
...

access("/etc/ld.so.nohwcap", F_OK)          = -1 ENOENT (No such file or directory)
open("/lib/i386-linux-gnu/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
read(3, "\177ELF\220\232\1\0004\0\0\0...", 512) = 512
fstat64(3, {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=1770984, ...}) = 0
```

¹²<https://github.com/cyrus-and/gdb-dashboard>

¹³<http://lldb.llvm.org/>

¹⁴<https://developer.microsoft.com/en-us/windows/hardware/windows-driver-kit>

¹⁵<http://rada.re/r/>

¹⁶<http://radare.org/raqui/>

17 yurichev.com

¹⁸ <http://www.ltrace.org/>

```
mmap2(NULL, 1780508, PROT_READ|PROT_EXEC, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) ↗
↳ = 0xb75b3000
```

Mac OS X ha dtruss per lo stesso compito.

Cygwin ha strace ma, per quanto ne so, funziona solo per file .exe compilati all'interno dell'ambiente cygwin.

6.2.4 Network sniffing

Sniffing significa intercettare informazioni di cui si potrebbe essere interessati.

(Free, open-source) *Wireshark*¹⁹ per lo sniffing di rete. Può sniffare anche USB²⁰.

Wireshark ha un fratello chiamato *tcpdump*²¹, un semplice strumento a linea di comando.

6.2.5 Sysinternals

(Free) Sysinternals (developed by Mark Russinovich)²². Questi strumenti sono importanti e vale la pena studiarli: Process Explorer, Handle, VMMap, TCPView, Process Monitor.

6.2.6 Valgrind

(Free, open-source) strumento per rilevare memory leak: <http://valgrind.org/>. A causa del suo potente meccanismo JIT, Valgrind è utilizzato come framework per altri strumenti.

6.2.7 Emulatori

- (Free, open-source) *QEMU*²³: emulatore per differenti tipi di CPU e architetture.
- (Free, open-source) *DosBox*²⁴: emulatore MS-DOS, usato soprattutto per il retro-gaming.
- (Free, open-source) *SimH*²⁵: emulatore di antichi computer, mainframe, ecc.

6.3 Altri strumenti

*Microsoft Visual Studio Express*²⁶: Versione gratuita di Visual Studio, conveniente per semplici esperimenti.

¹⁹<https://www.wireshark.org/>

²⁰<https://wiki.wireshark.org/CaptureSetup/USB>

²¹<http://www.tcpdump.org/>

²²<https://technet.microsoft.com/en-us/sysinternals/bb842062>

²³<http://qemu.org>

²⁴<https://www.dosbox.com/>

²⁵<http://simh.trailing-edge.com/>

²⁶visualstudio.com/en-US/products/visual-studio-express-vs

Alcune opzioni utili: [.3.3 on page 317](#).

C'è un sito chiamato "Compiler Explorer", che permette di compilare piccoli pezzi di codice e vederne l'output in varie versioni di GCC ed architetture differenti (almeno x86, ARM, MIPS): <http://godbolt.org/>—lo avrei utilizzato io stesso per il libro se lo avessi saputo!

6.3.1 Calcolatrici

Una buona calcolatrice, per le esigenze del reverse engineer, dovrebbe supportare almeno le basi decimale, esadecimale e binaria, ed operazioni importanti come XOR e gli shift.

- IDA ha una calcolatrice integrata ("?").
- rada.re ha *rax2*.
- <https://yurichev.com/progcalc/>
- Come ultima opzione, la calcolatrice standard di Windows ha una modalità programmatore.

6.4 Manca qualcosa qui?

Se conosci qualche strumento non elencato qui, per favore segnalamelo tramite e-mail al seguente indirizzo:
[my emails](#).

6.5

6.6

[Pierre Capillon – Black-box cryptanalysis of home-made encryption algorithms: a practical case study.](#)

[How to Hack an Expensive Camera and Not Get Killed by Your Wife.](#)

Capitolo 7

Capitolo 8

Libri/blog da leggere

8.1 Libri ed altro materiale

8.1.1 Reverse Engineering

- Eldad Eilam, *Reversing: Secrets of Reverse Engineering*, (2005)
- Bruce Dang, Alexandre Gazet, Elias Bachaalany, Sebastien Josse, *Practical Reverse Engineering: x86, x64, ARM, Windows Kernel, Reversing Tools, and Obfuscation*, (2014)
- Michael Sikorski, Andrew Honig, *Practical Malware Analysis: The Hands-On Guide to Dissecting Malicious Software*, (2012)
- Chris Eagle, *IDA Pro Book*, (2011)
- Reginald Wong, *Mastering Reverse Engineering: Re-engineer your ethical hacking skills*, (2018)

Inoltre, i libri di Kris Kaspersky.

8.1.2 Windows

- Mark Russinovich, *Microsoft Windows Internals*
- Peter Ferrie – The “Ultimate” Anti-Debugging Reference¹

:

- [Microsoft: Raymond Chen](#)
- [nynaeve.net](#)

¹<http://pferrie.host22.com/papers/antidebug.pdf>

8.1.3 C/C++

- Brian W. Kernighan, Dennis M. Ritchie, *The C Programming Language*, 2ed, (1988)
- *ISO/IEC 9899:TC3 (C C99 standard)*, (2007)²
- Bjarne Stroustrup, *The C++ Programming Language, 4th Edition*, (2013)
- C++11 standard³
- Agner Fog, *Optimizing software in C++* (2015)⁴
- Marshall Cline, *C++ FAQ*⁵
- Dennis Yurichev, *C/C++ programming language notes*⁶
- JPL Institutional Coding Standard for the C Programming Language⁷

8.1.4 x86 / x86-64

- Manuali Intel⁸
- Manuali AMD⁹
- Agner Fog, *The microarchitecture of Intel, AMD and VIA CPUs*, (2016)¹⁰
- Agner Fog, *Calling conventions* (2015)¹¹
- *Intel® 64 and IA-32 Architectures Optimization Reference Manual*, (2014)
- *Software Optimization Guide for AMD Family 16h Processors*, (2013)

Un po' datati ma sempre interessanti:

Michael Abrash, *Graphics Programming Black Book*, 1997¹² (è conosciuto per i suoi lavori di ottimizzazione a basso livello su progetti come Windows NT 3.1 e id Quake).

8.1.5 ARM

- Manuali ARM¹³
- *ARM(R) Architecture Reference Manual, ARMv7-A and ARMv7-R edition*, (2012)

²Italian text placeholder<http://www.open-std.org/jtc1/sc22/WG14/www/docs/n1256.pdf>
³Italian text placeholder<http://www.open-std.org/jtc1/sc22/wg21/docs/papers/2013/n3690.pdf>.
⁴Italian text placeholderhttp://agner.org/optimize/optimizing_cpp.pdf.
⁵Italian text placeholder<http://www.parashift.com/c++-faq-lite/index.html>
⁶Italian text placeholder<http://yurichev.com/C-book.html>
⁷Italian text placeholderhttps://yurichev.com/mirrors/C/JPL_Coding_Standard_C.pdf
⁸Italian text placeholder<http://www.intel.com/content/www/us/en/processors/architectures-software-developer-manuals.html>
⁹Italian text placeholder<http://developer.amd.com/resources/developer-guides-manuals/>
¹⁰Italian text placeholder<http://agner.org/optimize/microarchitecture.pdf>
¹¹Italian text placeholderhttp://www.agner.org/optimize/calling_conventions.pdf
¹²Italian text placeholder<https://github.com/jagregory/abrash-black-book>
¹³Italian text placeholder<http://infocenter.arm.com/help/index.jsp?topic=/com.arm.doc.subset.architecture.reference/index.html>

- [ARM Architecture Reference Manual, ARMv8, for ARMv8-A architecture profile, (2013)]¹⁴
- Advanced RISC Machines Ltd, *The ARM Cookbook*, (1994)¹⁵

8.1.6 Assembly

Richard Blum — Professional Assembly Language.

8.1.7 Java

[Tim Lindholm, Frank Yellin, Gilad Bracha, Alex Buckley, *The Java(R) Virtual Machine Specification / Java SE 7 Edition*] ¹⁶.

8.1.8 UNIX

Eric S. Raymond, *The Art of UNIX Programming*, (2003)

8.1.9 Programmazione in generale

- Brian W. Kernighan, Rob Pike, *Practice of Programming*, (1999)
- Henry S. Warren, *Hacker's Delight*, (2002). Alcune persone sostengono che i trucchi e gli hack di questo libro non siano più attuali adesso perchè erano validi solo per le [CPU RISC](#), dove le istruzioni di branching sono costose. Ad ogni modo, possono aiutare enormemente a comprendere l'algebra booleana e tutta la matematica coinvolta.

8.1.10 Crittografia

- Bruce Schneier, *Applied Cryptography*, (John Wiley & Sons, 1994)
- (Free) Ivh, *Crypto 101*¹⁷
- (Free) Dan Boneh, Victor Shoup, *A Graduate Course in Applied Cryptography*¹⁸.

¹⁴Italian text placeholder[http://yurichev.com/mirrors/ARMv8-A_Architecture_Reference_Manual_\(Issue_A.a\).pdf](http://yurichev.com/mirrors/ARMv8-A_Architecture_Reference_Manual_(Issue_A.a).pdf)

¹⁵Italian text placeholder[https://yurichev.com/ref/ARM%20Cookbook%20\(1994\)/](https://yurichev.com/ref/ARM%20Cookbook%20(1994)/)

¹⁶Italian text placeholder<https://docs.oracle.com/javase/specs/jvms/se7/jvms7.pdf>; <http://docs.oracle.com/javase/specs/jvms/se7/html/>

¹⁷Italian text placeholder<https://www.crypto101.io/>

¹⁸Italian text placeholder<https://crypto.stanford.edu/~dabo/cryptobook/>

Capitolo 9

Community

Esistono due eccellenti subreddit riguardo il [RE](#)¹ su reddit.com: reddit.com/r/ReverseEngineering/ e reddit.com/r/remath (Sugli argomenti di intersezione fra [RE](#) e matematica).

Esiste anche una sezione relativa a [RE](#) sul sito Stack Exchange: reverseengineering.stackexchange.com.

In IRC c'è un canale `##re` su FreeNode².

¹Reverse Engineering

²freenode.net

Afterword

9.1 Domande?

Non esitate a inviare una e-mail all'autore in caso abbiate una domanda o un dubbio o altro:

[my emails](#). Hai dei suggerimenti su dei contenuti da aggiungere al libro? Per favore, non esitare ad inviare qualsiasi correzione (comprese quelle grammaticali), ecc.

L'autore sta lavorando molto sul libro quindi i numeri delle pagine e gli elenchi numerati, etc., cambiano molto rapidamente. Per favore non riferitevi a numeri di pagine quando mi scrivere un'e-mail. C'è un metodo molto più semplice: fai uno screenshot della pagina e, tramite un editor per le foto, sottolinea il posto in cui hai visto l'errore e inviamelo. Lo sistemerò molto più velocemente! E se hai familiarità con git e \LaTeX allora puoi correggere l'errore direttamente nei sorgenti:

<https://beginners.re/src/>.

Non farti scrupoli nell'inviarmi gli errori che hai trovato anche nel caso non fossi sicuro(a). Sto scrivendo per principianti e quindi la vostra opinione è estremamente importante per me.

Appendice

.1 x86

.1.1 Terminologia

Comune per 16-bit (8086/80286), 32-bit (80386, etc.), 64-bit.

byte 8-bit. La direttiva DB in assembly è utilizzata per definire variabili ed array di byte. I byte sono passati nella parte ad 8-bit dei registri: AL/BL/CL/DL/AH/BH/CH/DH/SIL/DIL/R*

word 16-bit. La direttiva DW in assembly ——. Le Word sono passate nella parte a 16-bit dei registri:
AX/BX/CX/DX/SI/DI/R*W.

double word («dword») 32-bit. La direttiva DD in assembly ——. Le Double words sono passate nei registri (x86) o nelle parti a 32-bit dei registri (x64). Nel codice a 16-bit, le double words sono passate in coppie di registri a 16-bit.

quad word («qword») 64-bit. La direttiva DQ in assembly ——. Negli ambienti a 32-bit, le quad words sono passate in coppie di registri a 32-bit.

tbyte (10 bytes) 80-bit o 10 bytes (usati per i registri FPU IEEE 754).

paragraph (16 bytes)—termine popolare nell’ambiente MS-DOS.

Tipi di dati della stessa dimensione (BYTE, WORD, DWORD) sono gli stessi nelle Windows API³.

.1.2 npad

listing.inc (MSVC):

```
;; LISTING.INC
;;
;; This file contains assembler macros and is included by the files created
;; with the -FA compiler switch to be assembled by MASM (Microsoft Macro
;; Assembler).
;;
;; Copyright (c) 1993-2003, Microsoft Corporation. All rights reserved.

;; non destructive nops
npad macro size
if size eq 1
    nop
else
    if size eq 2
        mov edi, edi
    else
        if size eq 3
            ; lea ecx, [ecx+00]
            DB 8DH, 49H, 00H
        else
            if size eq 4
                ; lea esp, [esp+00]
```

³Application Programming Interface

```

    DB 8DH, 64H, 24H, 00H
else
    if size eq 5
        add eax, DWORD PTR 0
    else
        if size eq 6
            ; lea ebx, [ebx+00000000]
            DB 8DH, 9BH, 00H, 00H, 00H, 00H
        else
            if size eq 7
                ; lea esp, [esp+00000000]
                DB 8DH, 0A4H, 24H, 00H, 00H, 00H, 00H
            else
                if size eq 8
                    ; jmp .+8; .npad 6
                    DB 0EBH, 06H, 8DH, 9BH, 00H, 00H, 00H, 00H
                else
                    if size eq 9
                        ; jmp .+9; .npad 7
                        DB 0EBH, 07H, 8DH, 0A4H, 24H, 00H, 00H, 00H, 00H
                    else
                        if size eq 10
                            ; jmp .+A; .npad 7; .npad 1
                            DB 0EBH, 08H, 8DH, 0A4H, 24H, 00H, 00H, 00H, 00H, 90H
                        else
                            if size eq 11
                                ; jmp .+B; .npad 7; .npad 2
                                DB 0EBH, 09H, 8DH, 0A4H, 24H, 00H, 00H, 00H, 00H, 8BH, 0FFH
                            else
                                if size eq 12
                                    ; jmp .+C; .npad 7; .npad 3
                                    DB 0EBH, 0AH, 8DH, 0A4H, 24H, 00H, 00H, 00H, 00H, 8DH, 49H, 00H
                                else
                                    if size eq 13
                                        ; jmp .+D; .npad 7; .npad 4
                                        DB 0EBH, 0BH, 8DH, 0A4H, 24H, 00H, 00H, 00H, 00H, 8DH, 64H, 24↵
                                        ↵ H, 00H
                                    else
                                        if size eq 14
                                            ; jmp .+E; .npad 7; .npad 5
                                            DB 0EBH, 0CH, 8DH, 0A4H, 24H, 00H, 00H, 00H, 00H, 05H, 00H, ↵
                                            ↵ 00H, 00H, 00H
                                        else
                                            if size eq 15
                                                ; jmp .+F; .npad 7; .npad 6
                                                DB 0EBH, 0DH, 8DH, 0A4H, 24H, 00H, 00H, 00H, 00H, 8DH, 9BH, ↵
                                                ↵ 00H, 00H, 00H, 00H
                                            else
                                                %out error: unsupported npad size
                                                .err
                                            endif
                                        endif
                                    endif
                                endif
                            endif
                        endif
                    endif
                endif
            endif
        endif
    endif

```



```

        endif
    endif
endif
endif
endif
endif
endif
endif
endif
endif
endif
endm

```

.2

ll «long long», .

__alldiv	
__allmul	
__allrem	
__allshl	
__allshr	
__aulldiv	
__aullrem	
__aullshr	

.

VC/crt/src/intel/*.asm.

.3 Cheatsheets

.3.1 IDA

Elenco delle scorciatoie da tastiera:

Space	
C	
D	
A	
*	
U	
O	
H	
R	
B	
Q	
N	
?	
G	
:	
Ctrl-X	
X	
Alt-I	
Ctrl-I	
Alt-B	
Ctrl-B	
Alt-T	
Ctrl-T	
Alt-P	
Enter	
Esc	
Num -	
Num +	

..

.3.2 OllyDbg

Elenco delle scorciatoie da tastiera:

F7	
F8	step over
F9	
Ctrl-F2	

.3.3 MSVC

..

/O1 /Ob0 /Ox /GS- /Fa(file) /Zi /Zp(n) /MD	MSVCR*.DLL

: ?? on page ??.

.3.4 GDB

:

break filename.c:number	
break function	
break *address	
b	—” —
p variable	
run	
r	—” —
cont	
c	—” —
bt	
set disassembly-flavor intel	
disas	disassemble current function
disas function	
disas function,+50	disassemble portion
disas \$eip,+0x10	—” —
disas/r	
info registers	
info float	
info locals	
x/w ...	
x/w \$rdi	
x/10w ...	
x/s ...	
x/i ...	
x/10c ...	
x/b ...	
x/h ...	
x/g ...	
finish	
next	
step	
set step-mode on	
frame n	
info break	
del n	
set args ...	

Acronimi utilizzati

	321
OS Sistema Operativo (Operating System).....	14
PL Linguaggio di programmazione (Programming Language).....	viii
ROM Memoria di sola lettura (Read-Only Memory).....	108
ALU Unità aritmetica e logica (Arithmetic Logic Unit)	35
LIFO Ultimo arrivato primo ad uscire (Last In First Out)	41
ABI Application Binary Interface.....	21
RA Indirizzo di Ritorno.....	29
PE Portable Executable	7
LR Link Register	9
IDA TBT by Hex-Rays	9
MSVC Microsoft Visual C++	
AKA Also Known As — anche conosciuto come	41
CRT C Runtime library	14
CPU Central Processing Unit.....	xi
CISC Complex Instruction Set Computing	26
RISC Reduced Instruction Set Computing.....	3
BSS Block Started by Symbol.....	34
SIMD Single Instruction, Multiple Data	250
DBMS Database Management Systems.....	viii

	322
ISA Instruction Set Architecture	iii
SEH Structured Exception Handling	50
ELF Executable and Linkable Format: Formato di file eseguibile largamente utilizzato nei sistemi *NIX, Linux incluso	106
NOP No Operation	9
BEQ (PowerPC, ARM) Branch if Equal	125
BNE (PowerPC, ARM) Branch if Not Equal	267
RAM Random-Access Memory	4
GCC GNU Compiler Collection	5
API Application Programming Interface	314
ASCIIZ ASCII Zero ()	122
IA64 Intel Architecture 64 (Itanium)	282
OOE Out-of-Order Execution	284
VM Virtual Memory	
GPR General Purpose Registers	2
RE Reverse Engineering	310
GDB GNU Debugger	65
FP Frame Pointer	32
STMFD Store Multiple Full Descending ()	
LDMFD Load Multiple Full Descending ()	

	323
STMED Store Multiple Empty Descending ()	41
LDMED Load Multiple Empty Descending ()	41
STMFA Store Multiple Full Ascending ()	41
LDMFA Load Multiple Full Ascending ()	41
STMEA Store Multiple Empty Ascending ()	41
LDMEA Load Multiple Empty Ascending ()	41
TOS Top of Stack	288
JVM Java Virtual Machine	286
JIT Just-In-Time compilation	286
EOF End of File	114
TBT To be Translated. The presence of this acronym in this place means that the English version has some new/modified content which is to be translated and placed right here.	
URL Uniform Resource Locator	6

Glossario

Italian text placeholder Italian text placeholder. [242-244](#)

anti-pattern Generalmente considerata una cattiva pratica. [44](#), [102](#), [283](#)

chiamante Una funzione chiamante. [8-11](#), [14](#), [40](#), [63](#), [115](#), [128-130](#), [133](#), [143](#), [202](#)

chiamata Una funzione chiamata. [44](#), [45](#), [63](#), [90](#), [115](#), [128](#), [131](#), [134](#), [283](#)

decrementa Decrementa di 1. [25](#), [236](#), [260](#)

endianness L'ordine dei byte. [29](#), [105](#)

funzione foglia Una funzione che non chiama nessun'altra funzione. [38](#), [44](#)

Funzione thunk Piccola funzione con un solo scopo: chiamare un'altra funzione. [30](#), [57](#)

GiB Gibibyte: 2^{30} o 1024 megabyte o 1073741824 byte. [21](#)

heap di solito, una grossa locazione di memoria fornito da un OS in modo che le applicazioni possano dividerla da sole come desiderano. `malloc()` / `free()` lavorano con l'heap. [42](#)

incrementa Incrementa di 1. [22](#), [26](#), [236](#), [241](#), [260](#), [266](#)

ingegneria inversa L'atto di comprendere come una cosa funziona, a volte per clonarla. [iv](#)

numero reale Italian text placeholder. [279](#)

offset di salto Italian text placeholder. [123](#), [170](#), [171](#)

prodotto Risultato di una moltiplicazione. [129](#)

quoziente Risultato di una divisione. [278](#)

registro allocatore La parte del compilatore che assegna i registri della CPU alle variabili locali. [258](#)

registro link (RISC) Un registro in cui generalmente l'indirizzo di ritorno viene salvato. Ciò rende possibile chiamare funzioni foglia più velocemente, ovvero senza l'utilizzo dello stack. [44](#)

srotolamento del ciclo E' quando un compilatore, anzichè generare il codice di un ciclo per n iterazioni, genera n copie del corpo del ciclo, al fine di sbarazzarsi delle istruzioni per la manutenzione del ciclo. [239](#)

stack frame [Italian text placeholder](#). [91](#), [92](#), [129](#)

stack pointer Un registro che punta nello stack. [13](#), [15](#), [26](#), [41](#), [47](#), [58](#), [73](#), [75](#), [98](#), [131](#)

stdout Standard output. [28](#), [48](#), [202](#)

Indice analitico

Italian text placeholder, 19, 196

0x0BADF00D, 101

0xCCCCCCCC, 101

Ada, 140

Alpha AXP, 4

Anomalie del compilatore, 189

Apollo Guidance Computer, 270

ARM, 266

Condition codes, 174

DCB, 26

Istruzioni

ADD, 28, 139, 174, 245

ADDAL, 174

ADDCC, 223

ADDS, 137

ADR, 25, 174

ADRCc, 174, 175, 210, 211, 284

ADRP/ADD pair, 32, 74, 110

B, 73, 174, 176

Bcc, 126, 127, 190

BCS, 176

BEQ, 125, 211

BGE, 176

BL, 25, 27, 29, 30, 32, 175

BLcc, 175

BLE, 176

BLS, 176

BLT, 245

BLX, 29

BNE, 176

BX, 136, 225

CMP, 125, 126, 174, 211, 223, 245

CSEL, 187, 193, 195

IT, 196

LDMccFD, 175

LDMEA, 41

LDMED, 41

LDMFA, 41

LDMFD, 26, 41, 175

LDP, 33

LDR, 76, 98, 108

LDRB.W, 267

LDRSB, 266

LEA, 284

MADD, 137

MLA, 136

MOV, 11, 26, 28

MOVcc, 190, 195

MOVT, 28

MOVT.W, 29

MOVW, 29

MUL, 139

MULS, 137

MVNS, 267

POP, 25-27, 41, 44

PUSH, 27, 41, 44

RET, 33

RSB, 182

STMEA, 41

STMED, 41

STMFA, 41, 78

STMFD, 25, 41

STMIA, 76

STMIB, 78

STP, 32, 74

STR, 75

SUB, 75

SUBEQ, 268

TEST, 258

XOR, 183

Leaf function, 44

Modalità ARM, 3

Modalità Thumb-2, 3, 225

Modalità Thumb, 3, 176, 225

Mode switching, 136, 225

mode switching, 29

-
- Pipeline, [223](#)
 - Registri
 - Link Register, [25](#), [26](#), [44](#), [73](#), [225](#)
 - R0, [141](#)
 - scratch registers, [267](#)
 - Z, [125](#)
 - ARM64
 - lo12, [74](#)
 - bash, [142](#)
 - binary grep, [302](#)
 - Binary Ninja, [302](#)
 - BinNavi, [302](#)
 - Boolector, [56](#)
 - Booth's multiplication algorithm, [278](#)
 - Buffer Overflow, [279](#)
 - cdecl, [58](#)
 - codice indipendente dalla posizione, [25](#)
 - Compiler intrinsic, [49](#)
 - Cygwin, [304](#)
 - Data general Nova, [278](#)
 - dlopen(), [298](#)
 - dlsym(), [298](#)
 - dtruss, [303](#)
 - Dynamically loaded libraries, [30](#)
 - Elementi del linguaggio C
 - C99, [144](#)
 - const, [12](#), [109](#)
 - for, [236](#)
 - if, [160](#), [201](#)
 - Puntatori, [90](#), [98](#), [145](#)
 - return, [14](#), [115](#), [143](#)
 - switch, [199](#), [201](#), [210](#)
 - while, [257](#)
 - ELF, [106](#)
 - fastcall, [20](#), [46](#), [89](#)
 - FORTRAN, [31](#)
 - Function epilogue, [40](#), [73](#), [76](#), [175](#)
 - Function prologue, [15](#), [40](#), [44](#), [75](#)
 - Fused multiply-add, [136](#), [137](#)
 - GDB, [38](#), [65](#), [69](#), [302](#), [318](#)
 - Hex-Rays, [142](#), [254](#)
 - Hiew, [122](#), [170](#), [199](#), [301](#)
 - IDA, [116](#), [199](#), [296](#), [302](#), [316](#)
 - var_?, [76](#), [98](#)
 - IEEE 754, [314](#)
 - Inline code, [246](#)
 - Integer overflow, [140](#)
 - Intel
 - 8080, [266](#)
 - 8086, [266](#)
 - Intel C++, [13](#)
 - iPod/iPhone/iPad, [24](#)
 - JAD, [7](#)
 - Java, [286](#)
 - jumptable, [216](#), [225](#)
 - Keil, [24](#)
 - LAPACK, [31](#)
 - LD_PRELOAD, [297](#)
 - Libreria C standard
 - alloca(), [48](#), [283](#)
 - close(), [298](#)
 - free(), [283](#)
 - longjmp(), [202](#)
 - malloc(), [283](#)
 - memcpy(), [16](#), [90](#)
 - open(), [298](#)
 - puts(), [28](#)
 - read(), [298](#)
 - realloc(), [283](#)
 - scanf(), [89](#)
 - strcmp(), [298](#)
 - strcpy(), [16](#)
 - strlen(), [257](#)
 - strtok, [271](#)
 - Linker, [108](#)
 - LLDB, [302](#)
 - LLVM, [24](#)
 - Loop unwinding, [239](#)
 - Mac OS X, [304](#)
 - MIPS, [4](#)
 - Branch delay slot, [11](#)
 - Istruzioni
 - ADD, [140](#)
 - ADDIU, [35](#), [113](#), [114](#)
 - ADDU, [140](#)
 - BEQ, [127](#), [178](#)
 - BLTZ, [183](#)
 - BNE, [178](#)
 - BNEZ, [227](#)

-
- J, [9](#), [11](#), [35](#)
 - JAL, [140](#)
 - JALR, [35](#), [140](#)
 - JR, [214](#)
 - LB, [253](#)
 - LBU, [253](#)
 - LUI, [35](#), [113](#), [114](#)
 - LW, [35](#), [99](#), [114](#), [214](#)
 - MFHI, [140](#)
 - MFLO, [140](#)
 - MULT, [140](#)
 - NOR, [270](#)
 - OR, [38](#)
 - SB, [253](#)
 - SLL, [227](#), [273](#)
 - SLT, [178](#)
 - SLTIU, [227](#)
 - SLTU, [178](#), [180](#), [227](#)
 - SRL, [279](#)
 - SUBU, [183](#)
 - SW, [83](#)
 - Load delay slot, [214](#)
 - O32, [83](#), [89](#)
 - Pseudo-istruzioni
 - B, [249](#)
 - BEQZ, [180](#)
 - LA, [38](#)
 - LI, [11](#)
 - MOVE, [35](#), [112](#)
 - NEGU, [183](#)
 - NOP, [38](#), [112](#)
 - NOT, [270](#)
 - Puntatore Globale, [33](#)
 - Modalità Thumb-2, [29](#)
 - MS-DOS, [19](#), [46](#), [314](#)
 - MSVC, [316](#), [317](#)
 - objdump, [302](#)
 - OllyDbg, [60](#), [93](#), [105](#), [129](#), [146](#), [164](#), [217](#), [241](#), [261](#), [302](#), [317](#)
 - Oracle RDBMS, [13](#)
 - PowerPC, [4](#), [34](#)
 - puts() instead of printf(), [28](#), [96](#), [141](#), [172](#)
 - Qt, [19](#)
 - rada.re, [18](#)
 - Radare, [302](#)
 - rafind2, [302](#)
 - RAM, [108](#)
 - Raspberry Pi, [24](#)
 - Relocation, [30](#)
 - Ricorsione, [40](#), [43](#)
 - RISC pipeline, [175](#)
 - ROM, [108](#), [109](#)
 - RSA, [7](#)
 - Shadow space, [133](#), [134](#)
 - Signed numbers, [162](#)
 - Sintassi AT&T, [16](#), [50](#)
 - Sintassi Intel, [16](#), [24](#)
 - Stack, [41](#), [128](#), [202](#)
 - Stack frame, [91](#)
 - Stack overflow, [43](#)
 - strace, [297](#), [303](#)
 - Syntactic Sugar, [201](#)
 - syscall, [303](#)
 - Sysinternals, [304](#)
 - TCP/IP, [282](#)
 - thunk-functions, [30](#)
 - tracer, [242](#), [302](#)
 - UNIX
 - chmod, [6](#)
 - od, [301](#)
 - strings, [301](#)
 - xxd, [301](#)
 - Unrolled loop, [246](#)
 - uptime, [297](#)
 - user32.dll, [198](#)
 - uso di grep, [244](#)
 - Varibili globali, [102](#)
 - win32
 - GetOpenFileName, [271](#)
 - WinDbg, [302](#)
 - Windows
 - API, [314](#)
 - Structured Exception Handling, [50](#), [300](#)
 - Windows 98, [198](#)
 - Windows File Protection, [198](#)
 - x86
 - Flag
 - CF, [46](#)
 - Istruzioni
 - ADD, [13](#), [58](#), [129](#)

ADRCc, 185
AND, 15
BSWAP, 282
CALL, 13, 42
CMOVcc, 175, 185, 187, 191, 195, 284
CMP, 115, 116
DEC, 260
IMUL, 129
INC, 260
INT, 46
JA, 162
JAE, 162
JB, 162
JBE, 162
Jcc, 127, 189
JE, 201
JG, 162
JGE, 161
JL, 162
JLE, 161
JMP, 43, 56, 73
JNE, 115, 116, 161
JZ, 125, 201
LEA, 92, 132
LEAVE, 15
LOOP, 236, 256
MOV, 11, 14, 17
MOVSX, 258, 266
MOVZX, 259
NOP, 314
NOT, 265, 267
POP, 13, 41, 43
PUSH, 13, 15, 41, 43, 91
RET, 8, 10, 14, 43
SETcc, 178, 259
SHL, 272
SHR, 278
SUB, 14, 15, 116, 201
TEST, 258
XOR, 14, 115, 265
Registri
EAX, 115, 141
EBP, 91, 129
ESP, 58, 91
Flag, 116, 164
JMP, 221
ZF, 116
x86-64, 20, 68, 90, 96, 124, 131
Xcode, 24