Funzioni Hash con OpenSSL

Alfredo De Santis

Dipartimento di Informatica
Università di Salerno

ads@unisa.it

Maggio 2020

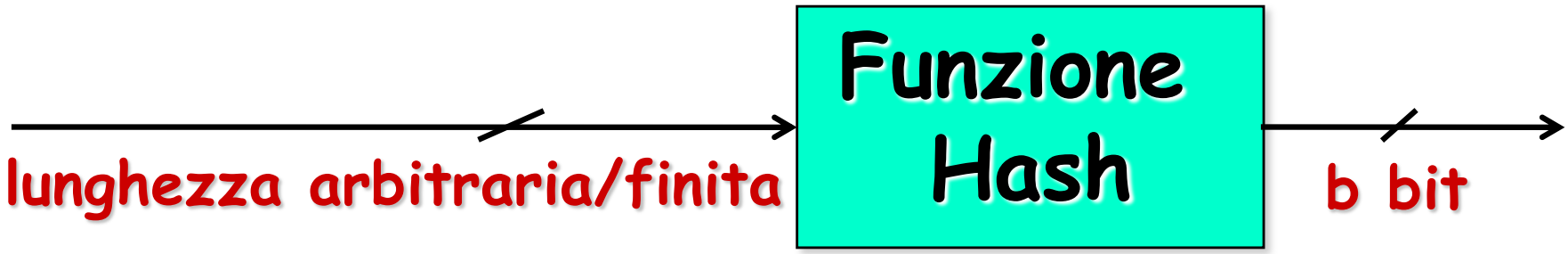
Outline

- Concetti Preliminari
- Funzioni Hash in OpenSSL

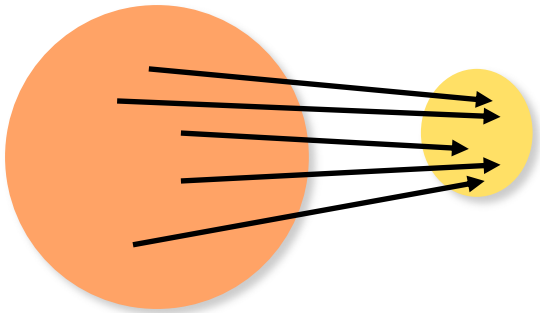
Outline

- **Concetti Preliminari**
- Funzioni Hash in OpenSSL

Funzioni Hash



- **Idea alla base:** il valore hash h(M) è una rappresentazione non ambigua e non falsificabile del messaggio M
- **Proprietà:** comprime ed è facile da computare

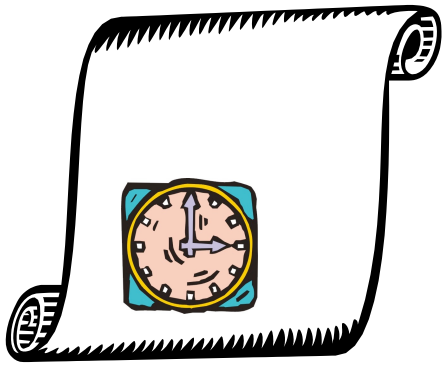


Uso delle Funzioni Hash

Firme Digitali

Integrità dei Dati

Certificazione del Tempo



Firme Digitali e Funzioni Hash

- **Problema**: firma digitale di messaggi lunghi
- **Soluzione naive**: Divisione in blocchi e firma per ogni blocco
  - Problema per la sicurezza: una permutazione/composizione delle firme è una nuova firma
- **Soluzione di uso corrente**: firmare il valore hash del messaggio
  - [firma di M] = $F_k(h(M))$
- **Vantaggi**: integrità dei dati ed efficienza degli algoritmi

Integrità dei Dati e Funzioni Hash

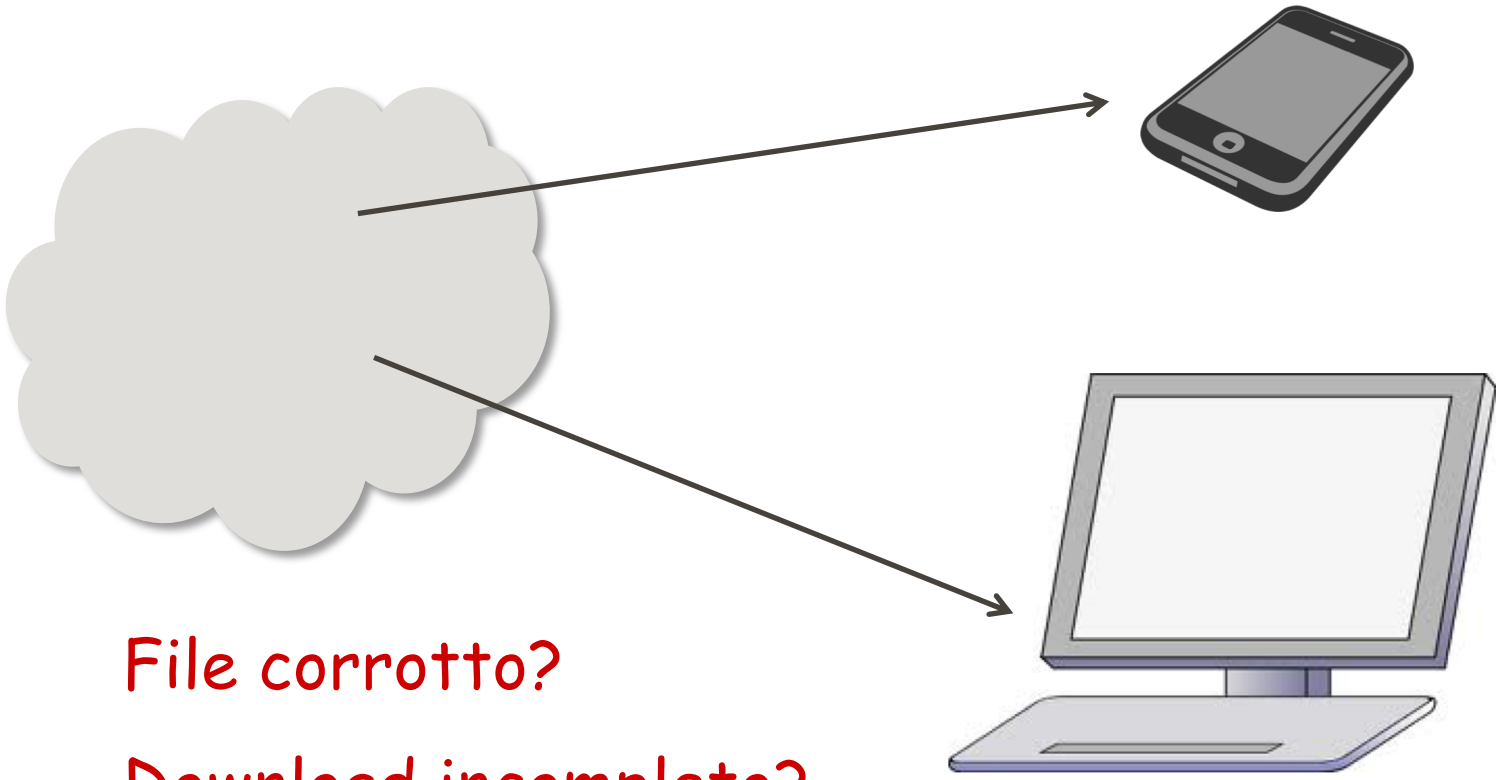
Tipico uso delle funzioni hash

- Computo al tempo T il valore hash del file M
- Conservo H = h(M) in un luogo sicuro
- Per controllare se il file è stato successivamente modificato, calcolo h(M') e verifico se H = h(M')
- **h(M) è l'impronta digitale del file**

Assicura se un file è stato modificato!

Integrità dei Dati e Funzioni Hash

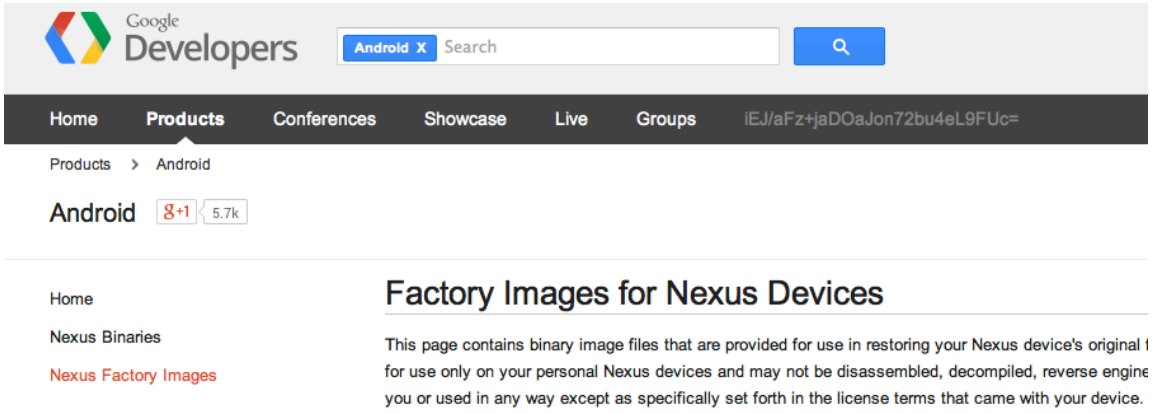
Download file



File corrotto?

Download incompleto?

Integrità dei Dati e Funzioni Hash



Factory Images "razorg" for Nexus 7 [2013] (Mobile)

Version	Download	MD5 Checksum	SHA-1 Checksum
4.3 (JLS36C)	Link	186e8ac3b198276289a5ba3e1569a758	fb03a89feb7c60fb7e31e67c587da3c97c2bf56b
4.3.1 (JLS36I)	Link	344feabad51d3bedb75a6e4d1d451a75	ecb320cdea2fa980d8a944dd82227bb8f89d58fd
4.4 (KRT16S)	Link	20bee0445c67aa45c002a14e4bac1d77	bd6c92418035598c0815d19a2b21066d3f6fe9b6
4.4.2 (KOT49H)	Link	8e42ffe324a9109031dd4f9dd53fdc9a	49789b240cab9a8e91c1f5a3eb0b6be0b07b5732
4.4.2_r2 (Verizon) (KVT49L)	Link	2efd400254e657d0b72e698daff7ba4d	65bdbe0a9288802998ac8834341fa2b7a0ecb9b7

Factory Images "mantaray" for Nexus 10

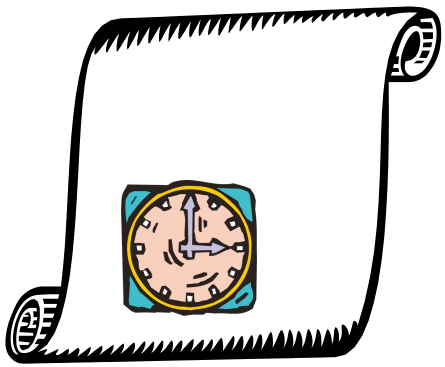
Version	Download	MD5 Checksum	SHA-1 Checksum
4.2.2 (JDQ39)	Link	b7a1162fb4e617143306ef6c4ca6c040	d79f489e1001d183b31d8a407b47cd5b8e9505cd
4.3 (JWR66Y)	Link	60d0df743b44aee10f125be8e03e84f2	3d8252dd33af47ff7132734b053dfffbc2b58ce4
4.4 (KRT16S)	Link	7b308faf560cedd6970f27fc40828b2e	944139617036fca28848cf0ace67b81f93e08e4e
4.4.2 (KOT49H)	Link	6812260ac97283bd0053e09a05cd5825	174ba74f19a22c0e96467287c34cb63c6e9f751d

Certificazione del Tempo e Funzioni Hash

Il notaio digitale

Quando è stato creato

il documento **D** ?



Outline

- Concetti Preliminari
- **Funzioni Hash in OpenSSL**

Funzioni Hash in OpenSSL

- OpenSSL fornisce numerose funzioni hash (o Message Digest)
  - MD4, MD5, SHA1, SHA3, RIPEMD-160, etc.

- Mediante il seguente comando è possibile visualizzare le funzioni hash fornite

```
openssl list --digest-commands
```

- **N.B.** Alcune delle funzioni fornite hanno problemi di sicurezza

Funzioni Hash in OpenSSL

Il comando `dgst`

- Il comando **`dgst`** permette di accedere alle funzioni hash fornite da OpenSSL
  - Opera su dati letti dallo standard input, oppure su uno o più file

- Se alla funzione hash viene passato più di un file, viene calcolato un hash separato per ciascun file

- L'hash calcolato è scritto in formato esadecimale sullo standard output
  - A meno che non sia specificato un file di output

Funzioni Hash in OpenSSL

Opzioni principali del comando `dgst`

```
openssl dgst args file
```

- **args**
  - **-digest**
    - Funzione hash da usare per il calcolo del message digest
    - **digest** può essere uno degli algoritmi mostrati dal comando **openssl list --digest-commands**
  - **-out filename**
    - File in cui scrivere l'output della funzione. Altrimenti l'output viene scritto sullo standard output
  - **-hmac key**
    - Crea un hashed MAC usando una determinata chiave
- **file**
  - File (uno o più) su cui deve essere applicata la funzione hash

Funzioni Hash in OpenSSL

Opzioni principali del comando `dgst`

```
openssl dgst args file
```

- **args**
  - **-digest**
    - Funzic…essage digest
    - diges…strati dal comando opens…
  - **-out filename**
    - File in cui scrivere l'output della funzione. Altrimenti l'output viene scritto sullo standard output
  - **-hmac key**
    - Crea un hashed MAC usando una determinata chiave
- **file**
  - File (uno o più) su cui deve essere applicata la funzione hash

Per ottenere la lista completa delle opzioni del comando `dgst` è possibile utilizzare

`man dgst`

Funzioni Hash in OpenSSL

Esempi Calcolo Hash ed HMAC

- Mediante il seguente comando è possibile calcolare la funzione hash (SHA512 nell'esempio) di un file preso in input (**`file.txt`**)

```
openssl dgst -sha512 -out DigestOutput.txt file.txt
```

- Mediante il seguente comando è possibile calcolare l'HMAC di un file preso in input (**`file.txt`**), utilizzando la stringa **P1pp0B4udo** come chiave

```
openssl dgst -sha512 -out HMACOutput.txt -hmac P1pp0B4ud0 file.txt
```

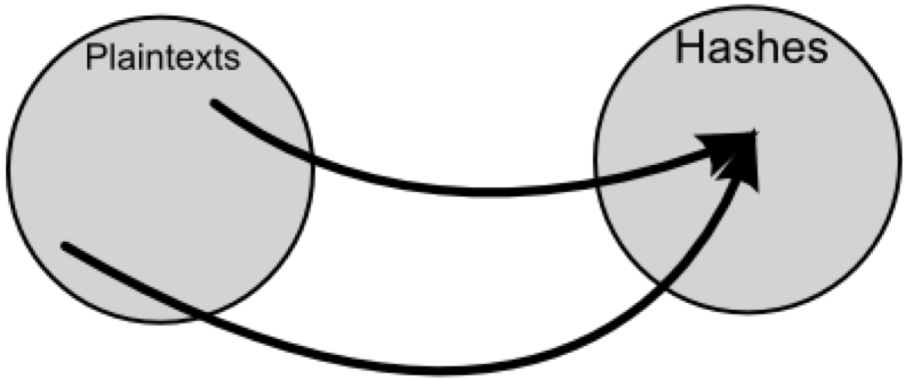
HMAC-SHA512(file.txt)=
7ff9e2a6d40177e962bedd54c35a1b56e7cc557d73167451f59d27ed8ef9c26678bfbf
c250333af4f9d9a5c78d376e71b04818e94b137ec61a8df6d764267e31

Contenuto del file `HMACOutput.txt`

Funzioni Hash in OpenSSL

Collisioni in MD5

- MD5 è stata una delle funzione hash più usate
- Tuttavia è stata dimostrata essere insicura
  - Mediante crittoanalisi sono stati proposti algoritmi efficienti per trovare **collisioni**
    - Coppie di messaggi che hanno lo stesso valore hash



Funzioni Hash in OpenSSL

Collisioni in MD5

- Prime collisioni annunciate il 17 agosto 2004, da Wang et al., nell'articolo «Collisions for Hash Functions MD4, MD5, HAVAL-128 and RIPEMD»
  - https://eprint.iacr.org/2004/199

- Ulteriori collisioni annunciate da Marc Stevens nel 2012, nell'articolo «Single-block collision attack on MD5»
  - http://eprint.iacr.org/2012/040

Funzioni Hash in OpenSSL

Collisioni in MD5 – Esempio 1

Dati i seguenti due messaggi in esadecimale

Messaggio 1 (File1.hex)

```
4dc968ff0ee35c209572d4777b721587d36fa7b21bdc56b74a3dc0783e7b9518
afbfa200a8284bf36e8e4b55b35f427593d849676da0d1555d8360fb5f07fea2
```

Messaggio 2 (File2.hex)

```
4dc968ff0ee35c209572d4777b721587d36fa7b21bdc56b74a3dc0783e7b9518
afbfa202a8284bf36e8e4b55b35f427593d849676da0d1d55d8360fb5f07fea2
```

Single-block collision attack on MD5, Marc Stevens, preprint, 2012
http://eprint.iacr.org/2012/040

Funzioni Hash in OpenSSL

Collisioni in MD5 – Esempio 1

- Creiamo due file binari a partire da tali messaggi

```
xxd -r -p File1.hex > file1
xxd -r -p File2.hex > file2
```

- Usando `cmp` verifichiamo che `file1` e `file2` siano diversi
  - `cmp file1 file2`

- Calcoliamo l'hash MD5 di `file1` e `file2`
  - Possiamo osservare che i due file hanno il medesimo hash MD5

```
$ openssl dgst -md5 file1 file2
MD5(file1)= eddf167f1f2bc9da2ee843952e3fdf45
MD5(file2)= eddf167f1f2bc9da2ee843952e3fdf45
```

Funzioni Hash in OpenSSL

Collisioni in MD5 – Esempio 2

- È anche possibile trovare collisioni tramite *fastcool*
  - Strumento che permette di generare coppie di file distinti ma aventi lo stesso hash MD5

- Dipendenze ed installazione dello strumento
  - *Boost (C++ libraries)*
    - **`sudo apt-get install libboost-system-dev libboost-program-options-dev libboost-filesystem-dev make make-guile g++`**
  - *fastcoll*
    - http://www.cs.bu.edu/~goldbe/teaching/HW55814/static/fastcoll_v1.0.0.5_patched.zip
    - **`unzip fastcoll_v1.0.0.5_patched.zip`**
    - **`cd fastcoll/`**
    - **`make`**

Funzioni Hash in OpenSSL

Collisioni in MD5 - Esempio 2

```
$ ./fastcoll -o file1 file2
MD5 collision generator v1.5
by Marc Stevens (http://www.win.tue.nl/hashclash/)


Using output filenames: 'file1' and 'file2'
Using initial value: 0123456789abcdeffedcba9876543210


Generating first block: ............
Generating second block: S10.........................
Running time: 3.12363 s
```

Funzioni Hash in OpenSSL

Collisioni in MD5 – Esempio 2

```
$ ./fastcoll -o file1 file2
MD5 collision generator v1.5
by Marc Stevens (http://www.w                    l/h    sh/)


Using output filenames: 'file
Using initial value: 0123456789abcdeffedcba9876543210


Generating first block: ............
Generating second block: S10.........................
Running time: 3.12363 s
```

File creati da **fastcoll**

Tempo di esecuzione di **fastcoll**

Funzioni Hash in OpenSSL

Collisioni in MD5 – Esempio 2

- Mediante il comando **cmp** è possibile verificare se **file1** e **file2** sono uguali

```
$ cmp file1 file2
file1 file2 differenza: byte 20, riga 1
```

Funzioni Hash in OpenSSL

Collisioni in MD5 – Esempio 2

- Mediante il comando **cmp** è possibile verificare se **file1** e **file2** sono uguali

```
$ cmp file1 file2
file1 file2 differenza: byte 20, riga 1
```

- Il comando **cmp** non restituisce alcun output quando i file comparati sono identici
  - In questo caso **file1** e **file2** sono diversi
  - Il primo byte in cui i due file differiscono è quello alla posizione 20
    - Ciò può essere verificato mediante Bless

Funzioni Hash in OpenSSL

Collisioni in MD5 – Esempio 2

- Visualizzando il contenuto dei due file mediante **xxd** (o Bless) è possibile notare le loro differenze
  - I valori in rosso sono quelli che differiscono tra i due file

file 2

```
$ xxd file2
00000000: aebf 4de9 7f99 97a9 9ca3 fd5e 4529 7820  ..M........^E)x
00000010: 8bb8 f507 4901 2f1c 0546 421a b08d 25fd  ....I./..FB...%.
00000020: 4bcc f5e1 b8ed 0ea5 4742 6072 1422 c668  K.......GB`r."..h
00000030: d604 49ae 90f8 cc8c 015a b5fe bfeb 70c3  ..I......Z....p.
00000040: 49b9 fece 6aff ef8a 89ab 6e7d 6041 aa82  I...j.....n}`A..
00000050: b3b5 41e3 38db 9218 29b3 20c8 0660 68e8  ..A.8...). ..`h.
00000060: cfcd f253 9f43 a354 7b44 0e9c 0c68 e69f  ...S.C.T{D...h..
00000070: 5093 9259 46fb a668 bfae 0a4f fe7c e774  P..YF..h...O.|.t
```

file 1

```
$ xxd file1
00000000: aebf 4de9 7f99 97a9 9ca3 fd5e 4529 7820  ..M........^E)x
00000010: 8bb8 f587 4901 2f1c 0546 421a b08d 25fd  ....I./..FB...%.
00000020: 4bcc f5e1 b8ed 0ea5 4742 6072 14a2 c568  K.......GB`r...h
00000030: d604 49ae 90f8 cc8c 015a b57e bfeb 70c3  ..I......Z.~..p.
00000040: 49b9 fece 6aff ef8a 89ab 6e7d 6041 aa82  I...j.....n}`A..
00000050: b3b5 4163 38db 9218 29b3 20c8 0660 68e8  ..Ac8...). ..`h.
00000060: cfcd f253 9f43 a354 7b44 0e9c 0ce8 e69f  ...S.C.T{D......
00000070: 5093 9259 46fb a668 bfae 0acf fe7c e774  P..YF..h.....|.t
```

Funzioni Hash in OpenSSL

Collisioni in MD5 – Esempio 2

- La funzione MD5 sui due file restituisce il medesimo risultato
  - Pur essendo tali file diversi tra loro

```
$ openssl dgst -md5 file1 file2
MD5(file1)= 0d60a9451e4e3da182a34033999ebc35
MD5(file2)= 0d60a9451e4e3da182a34033999ebc35
```

Funzioni Hash in OpenSSL

Collisioni in SHA (SHA-0) – Esempio

Biham, Eli, et al. "Collisions of SHA-0 and Reduced SHA-1." Annual International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques. Springer Berlin Heidelberg, 2005

Dati i seguenti due messaggi in esadecimale

Messaggio 1 (File1.hex)

```
a766a602 b65cffe7 73bcf258 26b322b3 d01b1a97 2684ef53 3e3b4b7f 53fe3762
24c08e47 e959b2bc 3b519880 b9286568 247d110f 70f5c5e2 b4590ca3 f55f52fe
effd4c8f e68de835 329e603c c51e7f02 545410d1 671d108d f5a4000d cf20a439
4949d72c d14fbb03 45cf3a29 5dcda89f 998f8755 2c9a58b1 bdc38483 5e477185
f96e68be bb0025d2 d2b69edf 21724198 f688b41d eb9b4913 fbe696b5 457ab399
21e1d759 1f89de84 57e8613c 6c9e3b24 2879d4d8 783b2d9c a9935ea5 26a729c0
6edfc501 37e69330 be976012 cc5dfe1c 14c4c68b d1db3ecb 24438a59 a09b5db4
35563e0d 8bdf572f 77b53065 cef31f32 dc9dbaa0 4146261e 9994bd5c d0758e3d
```

Messaggio 2 (File2.hex)

```
a766a602 b65cffe7 73bcf258 26b322b1 d01b1ad7 2684ef51 be3b4b7f d3fe3762
a4c08e45 e959b2fc 3b519880 39286528 a47d110d 70f5c5e0 34590ce3 755f52fc
6ffd4c8d 668de875 329e603e 451e7f02 d45410d1 e71d108d f5a4000d cf20a439
4949d72c d14fbb01 45cf3a69 5dcda89d 198f8755 ac9a58b1 3dc38481 5e4771c5
796e68fe bb0025d0 52b69edd a17241d8 7688b41f 6b9b4911 7be696f5 c57ab399
a1e1d719 9f89de86 57e8613c ec9e3b26 a879d498 783b2d9e 29935ea7 a6a72980
6edfc503 37e69330 3e976010 4c5dfe5c 14c4c689 51db3ecb a4438a59 209b5db4
35563e0d 8bdf572f 77b53065 cef31f30 dc9dbae0 4146261c 1994bd5c 50758e3d
```

Funzioni Hash in OpenSSL

Collisioni in SHA (SHA-0) – Esempio

- Creiamo due file binari a partire da tali messaggi

```
xxd -r -p file1.hex > file1
xxd -r -p file2.hex > file2
```

- Mediante il comando **cmp** verifichiamo che i due file siano diversi

- Calcoliamo lo SHA di **file1** e **file2**, rispettivamente
  - Notiamo che i due file hanno il medesimo SHA

```
$ openssl dgst -sha file1 file2
SHA(file1)= c9f160777d4086fe8095fba58b7e20c228a4006b
SHA(file2)= c9f160777d4086fe8095fba58b7e20c228a4006b
```

Funzioni Hash in OpenSSL

Collisioni in SHA (SHA-0) – Esempio

- Creiamo due file binari a partire da tali messaggi

```
xxd -r -p file1.hex > file1
xxd -r -p file2.hex > file2
```

- Mediante il comando cmp verifichiamo che i due file siano diversi
- Calcoliamo lo SHA di
  - Notiamo che i due file h il medesimo SHA

- N.B. OpenSSL 1.1.1 non fornisce più la funzione **sha** (SHA-0)
  - Per svolgere questo esempio è necessario utilizzare versioni precedenti di OpenSSL

```
$ openssl dgst -sha file1 file2
SHA(file1)= c9f160777d4086fe8095fba58b7e20c228a4006b
SHA(file2)= c9f160777d4086fe8095fba58b7e20c228a4006b
```

Funzioni Hash in OpenSSL

Collisioni in SHA-1

- Miglior attacco: Marc Stevens, New collision attacks on SHA-1 based on optimal joint local-collision analysis, Eurocrypt 2013
  - Complessità stimata: $2^{57,5}$

- Partendo da tale attacco, nel Febbraio 2017 il team di ricerca di Google ha individuato una collisione effettiva in SHA-1
  - Obiettivo: creare due PDF con contenuti visivi distinti, ma con valori hash SHA-1 identici
  - Attacco effettuato realizzando un apposito «header» PDF
    - Noto anche come «prefisso» PDF

Fonti:
https://security.googleblog.com/2017/02/announcing-first-sha1-collision.html
https://marc-stevens.nl/research/papers/SBKAM17-SHAttered.pdf

Google
SHATTERED

Funzioni Hash in OpenSSL

Collisioni in SHA-1

- La realizzazione pratica di questo attacco teorico ha richiesto un impegno notevole
  - Anche per un'azienda come Google

- È stato sfruttato il Cloud Computing per calcolare la collisione
  - Uno dei più onerosi calcoli mai completati
  - Ha richiesto la computazione di 9 quintilioni (9×10^{30}) di SHA-1
    - Circa 6500 anni di computazione CPU, oppure 110 anni di computazione GPU

Fonti:
https://security.googleblog.com/2017/02/announcing-first-sha1-collision.html
https://marc-stevens.nl/research/papers/SBKAM17-SHAttered.pdf

Google SHATTERED

Funzioni Hash in OpenSSL

Collisioni in SHA-1 – Esempio

1.pdf

2.pdf

Stesso SHA-1

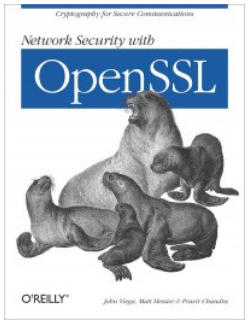
```
38762cf7f55934b34d179ae6a4c80cadccbb7f0a  1.pdf
38762cf7f55934b34d179ae6a4c80cadccbb7f0a  2.pdf
```

Fonte:
https://shattered.io/

Google SHATTERED

Bibliografia

- Network Security with OpenSSL Pravir Chandra, Matt Messier and John Viega (2002), O'Reilly
  - Cap. 2.2
  - Appendix A. Command-Line Reference



- Documentazione su OpenSSL
  - https://www.openssl.org/docs/

OpenSSL
Cryptography and SSL/TLS Toolkit

Bibliografia

- Presentazioni Lezioni Corso di Sicurezza, Prof. De Santis
  - Funzioni Hash
  - MAC