



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
Facoltà di Scienze e Tecnologie
*Corso di Laurea in Sicurezza dei Sistemi e delle Reti
Informatiche*

SICUREZZA
DELL'INFRASTRUTTURA AWS IN
UNA STARTUP FINTECH

Relatore: Prof. Claudio Agostino Ardagna

Correlatore: Lorenzo Perotta, Andrea Pasini, Simone Cortese

Tesi di:
Andrea Ferraboli
Matricola: 09985A

Anno Accademico 2024-2025

Prefazione

La crescente adozione delle tecnologie cloud ha rivoluzionato il settore fintech, portando benefici significativi in termini di scalabilità, flessibilità e riduzione dei costi operativi. Dall'altro lato, questa trasformazione digitale introduce nuove sfide di sicurezza derivanti dall'outsourcing dell'infrastruttura IT e dalla gestione di dati finanziari sensibili in ambienti distribuiti. Per le startup fintech, queste problematiche sono amplificate dalla necessità di bilanciare rapidità di sviluppo e conformità normativa con standard di sicurezza elevati.

Amazon Web Services (AWS) rappresenta oggi una delle piattaforme cloud più adottate dalle startup fintech per la sua robustezza e completezza dell'offerta di servizi. Tuttavia, la configurazione sicura di un'infrastruttura AWS richiede competenze specifiche e l'implementazione di strategie di sicurezza avanzate che vanno oltre le configurazioni standard. L'obiettivo di questa tesi è stato analizzare e implementare un'architettura di sicurezza completa su AWS specificamente progettata per le esigenze di una startup fintech.

La ricerca si concentra sull'implementazione pratica di controlli di sicurezza avanzati, tra cui la gestione granulare delle identità e degli accessi (IAM), la progettazione di reti sicure mediante Virtual Private Cloud (VPC), e l'implementazione di sistemi di rilevamento proattivo delle minacce attraverso honeypot. Particolare attenzione è stata posta alla creazione di un ambiente che sia al contempo sicuro, scalabile e conforme ai principali framework di sicurezza internazionali.

L'elaborato è organizzato come segue:

Capitolo 1 – Introduzione In questo capitolo si presenta il contesto delle startup fintech, analizzando le specificità del settore e le principali sfide di sicurezza che caratterizzano queste realtà innovative.

Capitolo 2 – Principi di cybersecurity olistici per un'infrastruttura fintech Il secondo capitolo fornisce le basi teoriche della sicurezza informatica, dalla triade CIA ai principi di difesa in profondità, contestualizzandoli nell'ambito fintech.

Capitolo 3 – Principi dell’Infrastruttura Cloud e Scelta di AWS Il terzo capitolo analizza i paradigmi del cloud computing e presenta AWS come piattaforma di riferimento, descrivendone architettura e caratteristiche di sicurezza.

Capitolo 4 – Progettazione e Implementazione Avanzata della Sicurezza delle Identità e degli Accessi (IAM) in AWS Questo capitolo si concentra sull’implementazione pratica di IAM, analizzando strategie avanzate per la gestione delle identità e l’applicazione del principio del minimo privilegio.

Capitolo 5 – Architettura di Rete Sicura e Protezione dei Servizi Applicativi su AWS per fintech Il quinto capitolo descrive la progettazione di un’architettura di rete sicura mediante VPC, gruppi di sicurezza e controlli di accesso avanzati.

Capitolo 6 – Implementazione di un Honeypot in un’Infrastruttura AWS per Startup fintech L’ultimo capitolo tecnico presenta l’implementazione di un sistema honeypot su AWS per il rilevamento proattivo delle minacce, includendo analisi dei costi e test di efficacia.

Capitolo 7 – Conclusioni Il capitolo finale riassume i risultati raggiunti e presenta considerazioni sulle prospettive future per la sicurezza delle infrastrutture cloud in ambito fintech.

Dedica

*dedicato a chi mi vuole bene, a chi mi stima e ai miei
compagni di viaggio, vi voglio bene*

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare soprattutto ...

Indice

Prefazione	1
Dedica	3
Ringraziamenti	4
1 Introduzione	1
1.1 La Cybersecurity nelle Startup fintech: Sfide, Vulnerabilità e Strategie di Protezione in un Ecosistema in Rapida Evoluzione	1
1.1.1 Definizione di fintech	1
1.1.2 Il Contesto delle Startup fintech: Un Ecosistema Dinamico e Sfidante	4
1.1.3 Banche Tradizionali vs. Startup fintech: Divergenze Strategiche in Tecnologia, Regolamentazione e Cybersecurity	5
1.1.4 Analisi delle Sfide di Cybersecurity per le Startup fintech	6
1.1.5 Principali Vettori di Attacco e Minacce Informatiche nel Contesto fintech	9
1.1.6 Conseguenze degli Attacchi e Impatto sulle Startup fintech	11
1.1.7 Importanza di un Approccio Proattivo alla Cybersecurity	11
1.1.8 Approccio Metodologico	12
2 Principi di cybersecurity olistici per un'infrastruttura fintech	13
2.1 Introduzione	13
2.2 Triade CIA: Il Nucleo della Sicurezza delle Informazioni	14
2.3 Difesa in Profondità (Defense in Depth)	16
2.4 Princípio del Minimo Privilegio (Principle of Least Privilege - PoLP)	16
2.5 Separazione dei Compiti (Separation of Duties - SoD)	17
2.6 Zero Trust Architecture (ZTA)	17
2.7 Economia del Meccanismo	18
2.8 Impostazioni Sicure per Difetto (Fail-Safe Defaults)	18
2.9 Mediazione Completa	19

2.10 Resilienza Cibernetica (Cyber Resiliency)	20
2.11 Responsabilizzazione e Non-Ripudio (Accountability and Non-Repudiation)	20
2.12 Privacy by Design (PbD) e Privacy by Default	21
2.12.1 Conclusioni Preliminari del Capitolo	21
3 Principi dell’Infrastruttura Cloud e Scelta di AWS	23
3.1 Fondamenti di Cloud Computing	23
3.1.1 Modelli di servizio e distribuzione cloud	24
3.1.2 Cloud Computing vs Infrastrutture On-Premises	27
3.1.3 Perché le Startup Scelgono il Cloud	28
3.1.4 Introduzione ad Amazon Web Services (AWS)	30
3.1.5 Il Caso Specifico: AWS per la Startup fintech	31
3.1.6 Infrastruttura Globale AWS: Fondamenta per la fintech	33
3.1.7 Architettura Virtualizzata e Meccanismi di Scalabilità per la fintech	34
3.1.8 Modello di Responsabilità Condivisa: Implicazioni per la fintech	37

Elenco delle figure

1	Categorie di Servizi fintech	3
2	Principali vettori di attacco e minacce informatiche nel contesto fintech	9
3	Modelli di Servizio Cloud	25
4	Modello di Responsabilità Condivisa di AWS	37

Capitolo 1

Introduzione

1.1 La Cybersecurity nelle Startup fintech: Sfide, Vulnerabilità e Strategie di Protezione in un Ecosistema in Rapida Evoluzione

Il settore fintech rappresenta oggi una delle aree più dinamiche e innovative dell'ecosistema startup, con investimenti globali che hanno raggiunto i 115 miliardi di dollari, in crescita esponenziale rispetto ai 53.2 miliardi del 2018 [1]. Questo rapido sviluppo, caratterizzato dall'implementazione di tecnologie emergenti per i servizi finanziari, porta con sé non solo opportunità senza precedenti, ma anche significative sfide in termini di sicurezza informatica. Le startup fintech, che si trovano all'intersezione tra finanza tradizionale e innovazione tecnologica, gestiscono dati estremamente sensibili, diventando bersagli privilegiati per i cybercriminali. La presente tesi esplora le vulnerabilità specifiche di queste realtà, analizza le principali minacce che esse affrontano e propone strategie di sicurezza efficaci anche in contesti di risorse limitate. Si evidenzia come un approccio proattivo alla cybersecurity non rappresenti un costo, bensì un investimento strategico fondamentale per il successo a lungo termine di una piccola-media impresa nel campo del fintech.

1.1.1 Definizione di fintech

Il termine *fintech* (acronimo di “financial technology”) identifica, nell'ecosistema economico-finanziario contemporaneo, l'intersezione tra servizi finanziari e tecnologie digitali avanzate. Esso è caratterizzato dall'implementazione di soluzioni tecnologiche innovative per la trasformazione digitale del settore bancario e finanziario [2]. Una *startup fintech* si configura come un'entità imprenditoriale emergente

che opera nell’ambito della tecnologia finanziaria, sviluppando modelli di business innovativi basati su architetture tecnologiche all’avanguardia e paradigmi operativi che sfidano le metodologie consolidate delle aziende o delle organizzazioni nel settore finanziario tradizionale [3].

Queste organizzazioni, orientate alla tecnologia, si caratterizzano per l’adozione di approcci centrati sui dati e sul cliente (*data-centric* e *customer-centric*), finalizzati all’ottimizzazione dell’accessibilità, dell’efficienza operativa e della qualità dell’esperienza utente nei servizi finanziari. Esse assumono un ruolo strategico di primo piano nel processo di trasformazione digitale dell’ecosistema finanziario nazionale, contribuendo significativamente alla modernizzazione delle infrastrutture di pagamento e dei servizi bancari digitali [2].

Il panorama dei servizi finanziari sta subendo una profonda trasformazione, guidata dall’emergere delle startup fintech (Financial Technology) e Insurtech (Insurance Technology). Queste entità introducono modelli di business e soluzioni tecnologiche che si pongono in diretta competizione, e talvolta in collaborazione, con gli operatori tradizionali del settore. L’offerta tipica di tali startup si articola in diverse aree chiave, ciascuna caratterizzata da un elevato grado di innovazione e digitalizzazione:

- **Pagamenti Digitali:** I pagamenti digitali consistono in sistemi che consentono la transazione di denaro in formato elettronico, frequentemente mediante applicazioni mobili, portafogli digitali e tecnologie contactless. Tali soluzioni mirano a migliorare l’efficienza dell’esperienza utente, ridurre i costi di transazione e velocizzare i tempi di elaborazione. Dal punto di vista della sicurezza informatica, l’infrastruttura deve prevedere meccanismi robusti di autenticazione degli utenti, crittografia end-to-end e sistemi antifrode intelligenti, per garantire la protezione dei dati e delle transazioni [4].
- **Trasferimenti di Denaro Peer-to-Peer (P2P):** I sistemi *Peer-to-Peer* (*P2P*), che permettono il trasferimento diretto di fondi tra utenti senza l’intermediazione di istituzioni finanziarie tradizionali, consentono la riduzione dei costi e dei tempi di trasferimento. Le piattaforme devono tuttavia implementare processi rigorosi di verifica dell’identità (*Know Your Customer*, KYC) e controllo antiriciclaggio (*Anti-Money Laundering*, AML), oltre a misure per la protezione dei dati personali e per la prevenzione di frodi e attività illecite [4].
- **Prestiti Diretti tra Privati (P2P Lending):** Questo modello di credito consente l’incontro diretto tra richiedenti e finanziatori, riducendo il ruolo delle banche. Le piattaforme si avvalgono di algoritmi di scoring basati su *machine learning* e analisi dei *big data* per valutare il merito creditizio. Le

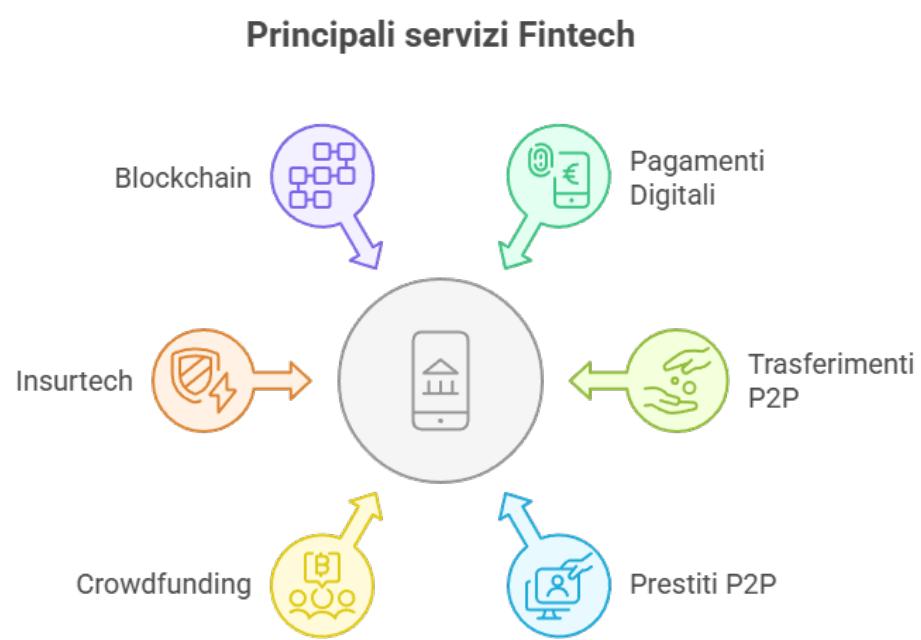


Figura 1: Categorie di Servizi fintech

criticità principali riguardano la trasparenza algoritmica, la protezione dei dati finanziari sensibili e la gestione del rischio di insolvenza [5].

- **Finanziamento Partecipativo (Crowdfunding):** Le piattaforme di *crowdfunding* facilitano la raccolta di fondi da un'ampia base di investitori per progetti imprenditoriali, culturali o sociali. Le principali tipologie includono equity-based, lending-based, reward-based e donation-based. Le sfide di sicurezza si concentrano sulla prevenzione delle frodi, sulla protezione degli investitori e sulla trasparenza delle informazioni fornite dai promotori [6].
- **Servizi Assicurativi Innovativi (Insurtech):** L'insurtech introduce tecnologie come l'intelligenza artificiale, l'*Internet of Things (IoT)* e la *big data analytics* nel settore assicurativo, allo scopo di personalizzare i prodotti, migliorare la gestione dei sinistri e ottimizzare la valutazione del rischio. La protezione dei dati sensibili (ad esempio, dati sanitari o comportamentali) è una priorità, richiedendo tecniche avanzate di *data governance* e sicurezza informatica [7].
- **Tecnologie Blockchain e Criptovalute:** L'impiego delle *Distributed Ledger Technologies (DLT)*, come la blockchain, ha rivoluzionato i servizi finanziari attraverso la decentralizzazione, la tokenizzazione di asset e la nascita della finanza decentralizzata (*Decentralized Finance, DeFi*). Le sfide principali riguardano la sicurezza degli *smart contract*, la custodia delle chiavi private, la prevenzione di attacchi come il 51% attack e la conformità a regolamenti AML e di contrasto al finanziamento del terrorismo (*Combating the Financing of Terrorism, CFT*) [8].

A conferma della crescente rilevanza e della dinamicità di questo settore a livello globale, anche il panorama italiano evidenzia una significativa espansione. Nel 2023, si registravano oltre 600 startup attive nei segmenti fintech e Insurtech [3]. Questo dato sottolinea non solo la vitalità dell'ecosistema innovativo nazionale, ma anche la progressiva adozione di queste nuove soluzioni da parte del mercato. Ciò implica una crescente superficie di attacco potenziale e la necessità di strategie di cybersecurity adeguate a proteggere sia le infrastrutture di questi nuovi attori sia i dati dei loro utenti.

1.1.2 Il Contesto delle Startup fintech: Un Ecosistema Dinamico e Sfidante

Le startup fintech operano in un ambiente caratterizzato da elevata incertezza, risorse limitate e necessità di crescita rapida, fattori che influenzano profondamente

le decisioni in ambito IT e sicurezza informatica [9]. A differenza delle istituzioni finanziarie tradizionali, queste realtà innovative non dispongono generalmente di strutture gerarchiche complesse o budget consistenti dedicati alla sicurezza, dovendo invece adottare approcci agili e flessibili.

Il contesto finanziario in cui operano le startup fintech impone pressioni significative sulle decisioni di spesa. Ogni investimento, compreso quello per l'infrastruttura IT e la sicurezza, deve essere attentamente valutato in termini di ritorno immediato e benefici a lungo termine [9]. Questa ottimizzazione dei costi rappresenta una sfida continua, poiché la sicurezza informatica richiede investimenti costanti, spesso non producendo risultati immediatamente visibili; la sua assenza, tuttavia, può comportare conseguenze catastrofiche. In questo equilibrio delicato, le startup fintech devono trovare il giusto compromesso tra la necessità di scalare rapidamente e l'implementazione di solide misure di protezione.

1.1.3 Banche Tradizionali vs. Startup fintech: Divergenze Strategiche in Tecnologia, Regolamentazione e Cybersecurity

Il panorama dei servizi finanziari è caratterizzato da una marcata eterogeneità tra gli operatori tradizionali e le nuove realtà fintech. Queste differenze si manifestano in modo sostanziale negli approcci tecnologici adottati, nei quadri normativi di riferimento e, di conseguenza, nelle strategie implementate per la cybersecurity.

Un aspetto cruciale di distinzione risiede proprio nell'approccio alla cybersecurity. Le istituzioni bancarie tradizionali operano in un contesto altamente strutturato e rigorosamente regolamentato, con precisi obblighi legali in materia di sicurezza e protezione dei dati. Consapevoli che anche il minimo incidente può comportare la perdita di migliaia di clienti e sanzioni finanziarie significative, esse investono ingenti risorse nel testare costantemente le proprie misure di sicurezza. Al contrario, le startup fintech hanno storicamente beneficiato di una maggiore flessibilità normativa [10]. Spesso nate come realtà agili e in rapida espansione, talvolta fungono da "overlay" per le banche, facilitando la fornitura di servizi finanziari innovativi pur operando, almeno inizialmente, con regolamentazioni meno stringenti. Questa disparità normativa sta tuttavia diminuendo, specialmente per quelle fintech che evolvono verso modelli bancari più completi, assoggettandosi così a un crescente scrutinio regolamentare. La sfida per queste startup consiste quindi nel bilanciare l'agilità operativa con l'adozione di standard di sicurezza elevati, anticipando l'evoluzione normativa del settore.

Queste divergenze in ambito cybersecurity sono profondamente radicate in più ampi e distinti approcci alla tecnologia e al contesto regolamentare, che riflettono

modelli organizzativi e strategie di innovazione differenti. Le banche tradizionali operano tipicamente con infrastrutture IT complesse e stratificate nel tempo, risultando spesso meno agili e più costose da aggiornare rispetto alle soluzioni moderne. La loro evoluzione tecnologica è stata prevalentemente incrementale, focalizzata sull'automazione dei processi esistenti per migliorare l'efficienza, piuttosto che su innovazioni disruptive. Storicamente, esse hanno perseguito un approccio olistico, integrando internamente un'ampia gamma di servizi, sebbene si osservi una crescente tendenza all'outsourcing e alla specializzazione. I costi IT rappresentano una quota significativa dei loro costi totali (15-20%), a causa della complessità delle infrastrutture legacy. Sul piano regolamentare, sono soggette a un quadro normativo estremamente rigido, intensificatosi dopo la crisi finanziaria del 2008, che comporta elevati costi di compliance e ha storicamente costituito una barriera all'entrata per nuovi competitor. Le startup fintech, d'altra parte, si contraddistinguono per l'adozione di tecnologie moderne quali big data, cloud computing e blockchain, utilizzate per creare prodotti, servizi e modelli di business innovativi, come piattaforme di crowdfunding o assicurazioni peer-to-peer. La loro innovazione non si limita a miglioramenti incrementali, ma spesso mira a ridefinire radicalmente la catena del valore esistente, come nel caso dei pagamenti peer-to-peer tramite blockchain. Molte fintech si specializzano in nicchie specifiche, bypassando attori tradizionali e promuovendo la disintermediazione; raramente offrono un ventaglio completo di servizi bancari. La tecnologia è anche un driver per modelli di business innovativi, come i robo-advisors, e per l'ingresso di nuovi player nel mercato, come le grandi aziende tecnologiche. Sul fronte regolamentare, esse possono beneficiare di iniziative volte a ridurre le barriere all'entrata, quali i cosiddetti "*fintech sandbox*", che permettono di testare soluzioni in ambienti controllati. Il quadro normativo per le fintech è ancora in evoluzione, creando incertezze ma anche opportunità, con l'emergere di soluzioni "*RegTech*" (Regulatory Technology) per semplificare la compliance. Questo contesto, tendenzialmente più flessibile, consente alle fintech di esercitare una significativa pressione competitiva sulle banche tradizionali [11].

1.1.4 Analisi delle Sfide di Cybersecurity per le Startup fintech

L'ecosistema fintech, pur essendo un catalizzatore di innovazione nel settore finanziario, presenta per le startup che ne fanno parte un panorama di sfide di cybersecurity intrinsecamente complesso. La natura agile, la focalizzazione sulla rapida immissione sul mercato (*time-to-market*) e le risorse spesso limitate di queste nuove realtà imprenditoriali possono portare a una sottovalutazione della

postura di sicurezza, rendendole bersagli appetibili per attori malevoli. A differenza delle istituzioni finanziarie consolidate, che dispongono di budget e team dedicati alla mitigazione dei rischi informatici, le startup fintech devono bilanciare l'innovazione con la necessità imprescindibile di proteggere dati sensibili e infrastrutture critiche.

Le principali vulnerabilità e sfide operative per le startup fintech in ambito cybersecurity possono essere così sintetizzate:

- **Allocazione Iniziale delle Risorse e Priorità Strategiche:**

- Nelle fasi embrionali, la priorità delle startup fintech è spesso concentrata sullo sviluppo del prodotto, sull'acquisizione di utenti e sulla generazione di entrate.
- Questa focalizzazione può marginalizzare l'integrazione di solide pratiche di cybersecurity sin dalle prime fasi di progettazione, un approccio noto come *security by design*.
- L'assenza di figure dedicate come il *Chief Information Security Officer (CISO)* e un approccio reattivo – attendere una violazione prima di intervenire – espone l'organizzazione a rischi significativi che potrebbero compromettere la continuità operativa e la reputazione [12].
- La pressione competitiva per innovare rapidamente, superando gli operatori tradizionali, può incentivare cicli di sviluppo accelerati a scapito della robustezza della sicurezza dei sistemi e delle tecnologie sottostanti [13].

- **Vincoli di Budget e Competenze Specialistiche:**

- Le risorse finanziarie limitate costituiscono una barriera significativa all'adozione di soluzioni di cybersecurity avanzate.
- La capacità di attrarre e trattenere talenti specializzati in sicurezza informatica è limitata.
- Questo divario rispetto alle grandi istituzioni finanziarie, capaci di investimenti ingenti, si traduce in una potenziale disparità nella capacità di difesa contro minacce sofisticate.

- **Gestione di Dati Finanziari Altamente Sensibili:**

- Le startup fintech trattano quotidianamente un volume considerevole di dati finanziari sensibili, inclusi dettagli di conti bancari, informazioni di identificazione personale (*Personally Identifiable Information, PII*) e cronologie delle transazioni.

- La compromissione di tali dati non solo comporta severe sanzioni normative e perdite finanziarie dirette, ma erode irrimediabilmente la fiducia dei clienti, elemento vitale per la sostenibilità del business.
- **Superficie di Attacco Derivante da Tecnologie Emergenti e Interconnessioni:**
 - L'adozione spinta di tecnologie innovative (cloud computing, API aperte, intelligenza artificiale, blockchain) è un tratto distintivo delle fintech.
 - Sebbene queste tecnologie offrano vantaggi competitivi, esse introducono anche nuove superfici di attacco e vettori di minaccia [9].
 - La dipendenza da servizi cloud, pur garantendo scalabilità e accessibilità, può amplificare i rischi se le configurazioni non sono gestite secondo i principi di minima esposizione e sicurezza.
 - L'interconnessione con sistemi di terze parti (fornitori, partner) espande la superficie di attacco, rendendo cruciale una rigorosa gestione del rischio della catena di approvvigionamento (*supply chain risk management*).
- **Complessità del Panorama Normativo e degli Standard di Sicurezza:**
 - Gli standard di cybersecurity esistenti sono spesso stati concepiti per istituzioni finanziarie tradizionali o contesti tecnologici più generalisti.
 - Le specificità delle startup fintech – agilità, uso intensivo di cloud e API, modelli decentralizzati – richiedono un adattamento e un'interpretazione sartoriale di tali framework.
 - Questo aggiunge un ulteriore livello di complessità operativa e di compliance.
- **Minacce Interne (Insider Threats):**
 - Particolarmente nelle fasi iniziali, caratterizzate da controlli interni meno formalizzati e da una cultura organizzativa più aperta, il rischio associato a dipendenti negligenti, o in rari casi malintenzionati, non può essere trascurato.
 - La mancanza di segregazione dei compiti (*Segregation of Duties*) e di meccanismi di monitoraggio granulare degli accessi può facilitare incidenti di sicurezza originati dall'interno.

Queste sfide strutturali e operative aumentano la vulnerabilità delle startup fintech a una varietà di attacchi informatici, rendendo essenziale l'adozione di misure di sicurezza proattive e mirate per mitigare tali rischi.

1.1.5 Principali Vettori di Attacco e Minacce Informatiche nel Contesto fintech

Il settore fintech, data la sua natura digitale e la preziosità dei dati trattati, è un obiettivo primario per una vasta gamma di cyberattacchi [14]. Tra le minacce più rilevanti per le startup fintech si annoverano:

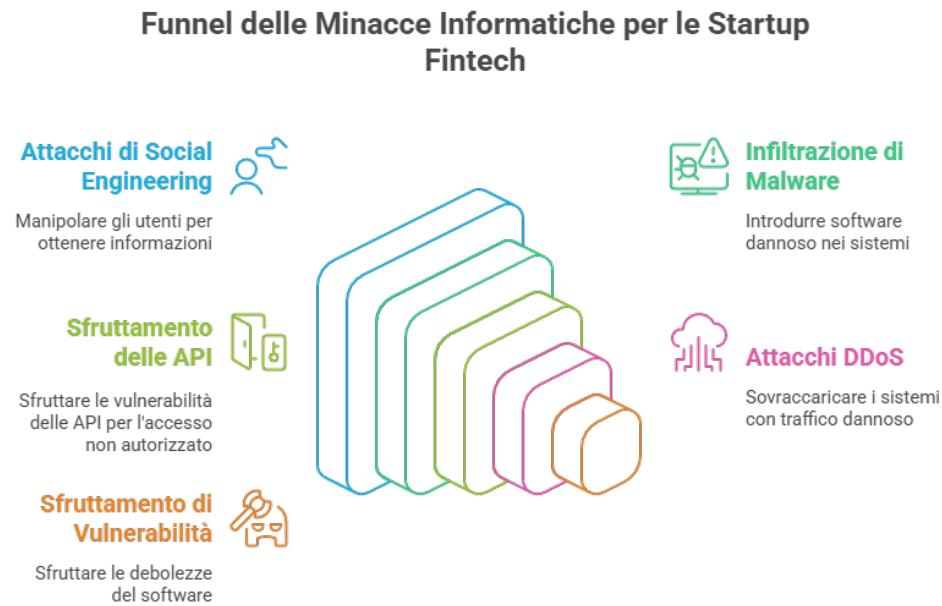


Figura 2: Principali vettori di attacco e minacce informatiche nel contesto fintech

- **Attacchi di Social Engineering e Phishing:** Tecniche come il *social engineering* (ingegneria sociale) e il *phishing* mirano a manipolare gli utenti o i dipendenti per indurli a rivelare credenziali di accesso, dati sensibili o a eseguire azioni malevoli. E-mail, messaggi e siti web fraudolenti, che replicano comunicazioni legittime, sono strumenti comuni per compromettere la sicurezza a livello umano [14].

- **Malware e Ransomware:** L’infiltrazione di software malevolo (*malware*), inclusi i *ransomware* che cifrano i dati rendendoli inaccessibili e richiedono un riscatto, rappresenta una minaccia critica. Per una startup, le cui risorse finanziarie sono limitate, l’impatto di un attacco ransomware – in termini di interruzione operativa, costi di ripristino e potenziale pagamento del riscatto – può essere particolarmente devastante [14].
- **Vulnerabilità delle API e Configurazioni Cloud Errate:** Le *Application Programming Interfaces (API)* sono fondamentali per l’ecosistema fintech, abilitando l’integrazione tra servizi diversi. Tuttavia, API insicure o mal configurate possono diventare gateway per accessi non autorizzati a dati e funzionalità critiche [9]. Analogamente, errori nella configurazione dei servizi cloud (*cloud misconfigurations*) possono esporre involontariamente dati sensibili o creare falle di sicurezza sfruttabili.
- **Attacchi Distributed Denial-of-Service (DDoS):** Questi attacchi, noti come *Distributed Denial-of-Service (DDoS)*, mirano a rendere i servizi online inaccessibili sovraccaricando l’infrastruttura target con un volume elevato di traffico malevolo. Sebbene possano apparire meno sofisticati di altri, gli attacchi DDoS possono causare significative interruzioni di servizio, danni reputazionali e perdite economiche; talvolta fungono da diversivo per mascherare intrusioni più mirate [9].
- **Sfruttamento di Vulnerabilità Software e Zero-Day:** Le startup, per la rapidità di sviluppo, potrebbero non avere processi di *patch management* (gestione delle patch) e *vulnerability assessment* (valutazione delle vulnerabilità) altrettanto maturi quanto aziende più strutturate. Questo le espone a rischi derivanti da vulnerabilità note o, nel peggio dei casi, da quelle non ancora divulgate (definite *zero-day*).

La comprensione approfondita di queste sfide e minacce è il primo passo fondamentale per le startup fintech, al fine di poter sviluppare strategie di cybersecurity proattive ed efficaci, integrando la sicurezza come componente essenziale del proprio modello di business sin dalla sua concezione. Le conseguenze di una violazione, che spaziano da perdite finanziarie dirette a danni reputazionali, impatti normativi e perdita di fiducia da parte degli stakeholder, possono compromettere la sopravvivenza stessa della startup.

1.1.6 Conseguenze degli Attacchi e Impatto sulle Startup fintech

L'impatto di un attacco informatico su una startup fintech può essere multidimensionale e, in molti casi, esistenziale. A livello finanziario, oltre ai costi diretti per il ripristino dei sistemi e la gestione dell'incidente, vanno considerati i potenziali risarcimenti a clienti danneggiati, le sanzioni normative e l'aumento dei premi assicurativi [9]. Tuttavia, è forse l'impatto reputazionale a rappresentare la minaccia più grave: in un settore basato sulla fiducia come quello finanziario, una violazione dei dati può comprometterne irreparabilmente l'immagine, portando alla perdita di clienti attuali e potenziali.

L'interruzione operativa conseguente a un attacco può avere effetti a catena, influenzando non solo i clienti diretti ma anche partner commerciali e fornitori [9]. In un ecosistema interconnesso come quello fintech, l'interdipendenza tra diverse piattaforme e servizi amplifica ulteriormente l'impatto di un incidente di sicurezza, con effetti che possono estendersi ben oltre il perimetro aziendale immediato.

1.1.7 Importanza di un Approccio Proattivo alla Cybersecurity

Implementare una strategia di cybersecurity solida sin dalle prime fasi di sviluppo di una startup fintech non configura un semplice onere, bensì un investimento strategico di primaria importanza [9]. L'adozione del paradigma "security by design" permette infatti di integrare la sicurezza in maniera organica nei processi aziendali e nel ciclo di sviluppo del prodotto, contribuendo alla significativa riduzione dei costi a lungo termine e alla minimizzazione dei rischi potenziali. Al contrario, la mancata attenzione alla sicurezza nelle fasi iniziali comporta l'accumulo di un cosiddetto *security debt*, ovvero un debito tecnico in ambito sicurezza che, analogamente a un mutuo con tassi elevati, diventa progressivamente più oneroso da gestire e da ripagare nel tempo. Infine, la pressione derivante dalla necessità di accelerare lo sviluppo e di raggiungere rapidamente il mercato può portare a trascurare aspetti fondamentali della sicurezza, esacerbando ulteriormente tale debito tecnico.

Un approccio preventivo alla sicurezza risulta sempre più efficace ed economico rispetto a uno reattivo [9]. I costi per implementare misure di sicurezza di base sono generalmente inferiori rispetto a quelli necessari per rispondere a un incidente, che possono includere non solo il ripristino dei sistemi ma anche sanzioni, risarcimenti e danni reputazionali. La cybersecurity deve quindi essere considerata come parte integrante della strategia aziendale, non come un elemento accessorio o un costo da minimizzare.

Le startup fintech devono inoltre considerare che adeguati livelli di sicurezza rappresentano spesso un requisito fondamentale per attrarre investitori e partner commerciali [9]. Durante le fasi di *due diligence*, l'analisi delle misure di sicurezza implementate è diventata una componente standard, e lacune significative in questo ambito possono compromettere opportunità di finanziamento o collaborazioni strategiche.

1.1.8 Approccio Metodologico

Il presente studio si prefigge di analizzare le sfide della cybersecurity nelle startup fintech mediante un approccio metodologico che coniuga rigore strutturale e flessibilità applicativa [9]. Nonostante la focalizzazione su un caso di studio specifico, l'intento è distillare principi e *best practice* di sicurezza trasferibili al più ampio contesto delle startup fintech, a prescindere dalla piattaforma tecnologica da esse adottata. L'approccio metodologico proposto tiene conto delle intrinseche limitazioni di risorse che caratterizzano le startup, offrendo soluzioni scalabili e capaci di evolvere in parallelo alla crescita organizzativa.

La metodologia si articola su tre direttive fondamentali: l'identificazione delle minacce peculiari al modello di business fintech, la prioritizzazione strategica degli interventi basata sulla valutazione del rapporto rischio/beneficio, e l'implementazione di controlli di sicurezza essenziali e al contempo efficaci [9]. Tale impostazione pragmatica è volta a conseguire un livello di protezione robusto anche in contesti di risorse contenute, concentrando gli sforzi sulle aree di maggiore criticità.

Capitolo 2

Principi di cybersecurity olistici per un'infrastruttura fintech

2.1 Introduzione

Per una startup fintech, la definizione dell'architettura infrastrutturale e del profilo di sicurezza rappresenta una sfida intrinsecamente complessa. Si tratta, infatti, di conciliare la dinamicità imposta dal mercato con l'inderogabile esigenza di tutelare dati finanziari di elevata sensibilità e di conformarsi a un quadro regolatorio in costante mutamento. Ancor prima di esaminare le concrete implementazioni di sicurezza, risulta fondamentale tracciare i pilastri concettuali della cybersecurity. Tali pilastri devono informare ogni scelta progettuale e operativa, con particolare attenzione alle sfide specifiche che le startup fintech, per loro stessa natura, si trovano ad affrontare. Il presente capitolo si propone di analizzare tali principi basilari, mettendo in luce come le specificità operative delle startup – quali risorse contenute, team con competenze trasversali, la spinta verso un rapido ingresso sul mercato e l'esigenza di scalabilità – si intreccino, e non di rado entrino in tensione, con l'applicazione meticolosa di queste pratiche ottimali. La salvaguardia dei dati clientelari, delle operazioni finanziarie e del patrimonio intellettuale, in un contesto operativo ad elevata esposizione, esige una strategia di sicurezza capace di essere al contempo solida, flessibile e concepita nativamente come parte integrante del sistema (Security by Design).

2.2 Triade CIA: Il Nucleo della Sicurezza delle Informazioni

La Triade CIA – Confidentiality (Riservatezza), Integrity (Integrità) e Availability (Disponibilità) – costituisce il framework concettuale riconosciuto a livello globale per la sicurezza delle informazioni [15]. Questi tre pilastri sono interdipendenti e fondamentali per la progettazione di qualsiasi strategia di sicurezza informatica resiliente, specialmente in contesti ad alta sensibilità come quello fintech.

- **Confidentiality (Riservatezza):** Assicura che le informazioni siano accessibili solo a entità autorizzate, proteggendo la privacy individuale e i dati proprietari da divulgazioni indebite [15]. Meccanismi tipici includono la crittografia end-to-end (E2EE) per dati in transito e at-rest, controlli di accesso basati su ruoli (RBAC), autenticazione multi-fattore (MFA) e una gestione rigorosa delle chiavi crittografiche. Nel contesto di una startup fintech, la riservatezza è messa a dura prova. L'accesso a dati finanziari sensibili (ad esempio, Primary Account Number (PAN), Card Verification Value (CVV), dettagli di conti bancari, Personally Identifiable Information (PII)) deve essere blindato. Tuttavia, la fluidità dei ruoli in team snelli spesso conduce a una condivisione pragmatica delle credenziali o all'assegnazione di privilegi sovradianimensionati per accelerare i cicli di sviluppo e deployment. La gestione delle chiavi crittografiche, un compito altamente specializzato, può diventare un'area grigia: l'adozione di servizi gestiti (Key Management Service, KMS) offerti dai cloud provider può mitigare parte della complessità, ma richiede comunque una corretta configurazione e una chiara attribuzione di responsabilità per prevenire accessi non autorizzati o perdite di chiavi.
- **Integrity (Integrità):** Garantisce che le informazioni siano protette da modifiche o distruzioni non autorizzate o accidentali, assicurando l'autenticità e la non ripudiabilità dei dati [15]. L'integrità è vitale per la fiducia nelle transazioni finanziarie e nei saldi dei conti. Le tecniche includono:
 - Funzioni di hash crittografiche (ad esempio, SHA-256, SHA-3) per la verifica dell'immutabilità.
 - Firme digitali (basate su Public Key Infrastructure, PKI) per l'autenticazione dell'origine e l'integrità dei messaggi.
 - Sistemi di controllo versione (ad esempio, Git con commit firmati) per codice e configurazioni.
 - Checksum e meccanismi di error detection/correction in storage e trasmissione.

- Log di audit immutabili.

Per una startup fintech, compromettere l'integrità dei dati transazionali o dei saldi dei clienti ha conseguenze catastrofiche, erodendo istantaneamente la fiducia e la brand reputation, oltre a potenziali implicazioni legali e sanzionatorie. La pressione per rilasci software frequenti, attraverso metodologie di Continuous Integration/Continuous Deployment (CI/CD), può portare a cicli di testing affrettati, aumentando il rischio di bug che potrebbero corrompere i dati. Inoltre, l'integrazione con numerose Application Programming Interface (API) di terze parti (ad esempio, per Know Your Customer/Anti-Money Laundering (KYC/AML), open banking, payment gateway) introduce dipendenze la cui affidabilità in termini di integrità dei dati scambiati deve essere costantemente monitorata.

- **Availability (Disponibilità):** Assicura che i sistemi e i dati siano accessibili e utilizzabili su richiesta da parte di un utente autorizzato, in modo tempestivo e affidabile [15]. Interruzioni di servizio, dovute a guasti, errori di configurazione o attacchi (ad esempio, Distributed Denial of Service (DDoS), ransomware), possono paralizzare le operazioni di una fintech, con perdite finanziarie dirette e un danno reputazionale ingente. Le strategie per l'alta disponibilità includono:

- Architetture ridondanti ($N+1$, $N+M$) per server, reti, storage e power.
- Piani di Disaster Recovery (DR) e Business Continuity (BCP) testati regolarmente.
- Load balancing e auto-scaling per gestire picchi di traffico.
- Protezione anti-DDoS a livello di rete e applicativo.
- Backup frequenti, possibilmente immutabili e off-site.

Le startup fintech, specialmente nelle fasi iniziali, spesso operano con infrastrutture ottimizzate per i costi, talvolta sottodimensionate rispetto a una crescita esplosiva degli utenti o a picchi di carico imprevisti. Questa limitata capacità iniziale può rendere i sistemi particolarmente vulnerabili ad attacchi Denial of Service (DoS) o DDoS volumetrici o applicativi, capaci di saturare le risorse e causare downtime prolungati. La dipendenza da singoli cloud provider o regioni specifiche può anche costituire un single point of failure se non mitigata da strategie multi-region o multi-cloud, spesso considerate troppo costose o complesse all'inizio.

2.3 Difesa in Profondità (Defense in Depth)

Il principio di Difesa in Profondità (DiD) postula la necessità di implementare controlli di sicurezza multipli e stratificati, in modo che il fallimento di un singolo controllo non comprometta l'intero sistema [16]. Questo approccio mira a creare barriere successive per rallentare, rilevare e rispondere agli attacchi. La strategia DiD, come delineata anche dal National Institute of Standards and Technology (NIST), si articola in architetture resistenti alla penetrazione, operazioni di limitazione del danno e progettazione per la cyber resilienza [17]. Nelle startup fintech, l'adozione di una DiD completa è spesso ostacolata da vincoli di budget, expertise e dalla velocità richiesta dal business. Ad esempio, mentre una segmentazione rigorosa della rete (con Demilitarized Zone (DMZ), reti interne dedicate per produzione, staging, sviluppo, e micro-segmentazione a livello di workload) è fondamentale, le startup potrebbero optare per architetture di rete "piatte" per semplificare il deployment iniziale e ridurre l'overhead gestionale, rimandando una segmentazione più granulare. Analogamente, l'implementazione di soluzioni come Web Application Firewall (WAF), Intrusion Detection/Prevention Systems (IDS/IPS), e Security Information and Event Management (SIEM) può essere graduale, partendo da soluzioni più basiche o cloud-native, ma lasciando potenziali lacune nella copertura difensiva nelle prime fasi.

2.4 Princípio del Minimo Privilegio (Principle of Least Privilege - PoLP)

Il Principle of Least Privilege (PoLP) stabilisce che a ogni utente, processo o sistema dovrebbero essere concessi solo i privilegi strettamente necessari per svolgere le proprie funzioni autorizzate, e solo per il tempo necessario [18]. Questo limita drasticamente il potenziale danno derivante da un account compromesso, un errore umano o un insider malevolo. Nelle startup fintech, la cultura dell' "execution at all costs" e i team "generalisti" possono portare a una diffusa assegnazione di privilegi amministrativi o accessi ampi. Per esempio, è comune che gli sviluppatori abbiano accesso diretto, talvolta con privilegi di scrittura, ai database di produzione per troubleshooting o rapidi fix, bypassando processi di change management più strutturati. Sebbene ciò possa accelerare la risoluzione di problemi urgenti, espone l'organizzazione a rischi significativi: un singolo account sviluppatore compromesso potrebbe portare alla fuoriuscita o alla manipolazione di ingenti quantità di dati finanziari sensibili. L'implementazione di accessi Just-In-Time (JIT) e di un rigoroso RBAC (già definito) richiede un investimento iniziale in termini di progettazione e configurazione che può essere percepito come un rallentamento.

2.5 Separazione dei Compiti (Separation of Duties - SoD)

La Separation of Duties (SoD) prevede la suddivisione di compiti critici e responsabilità tra individui differenti per prevenire frodi, errori e abusi, assicurando che nessuna singola persona abbia il controllo esclusivo su una transazione o processo end-to-end [19]. Ciò include la separazione tra chi sviluppa, chi effettua i test, chi provvede al rilascio e chi gestisce operativamente i sistemi, nonché tra chi amministra i controlli di accesso e chi ne verifica l'audit. Nelle startup fintech, con team spesso composti da pochi individui altamente versatili, la SoD rappresenta una sfida strutturale. Non è raro che un singolo ingegnere DevOps (Development and Operations) sia responsabile dell'intera pipeline CI/CD (già definita), dalla scrittura del codice infrastrutturale (Infrastructure as Code, IaC) al deployment in produzione e al monitoraggio della sicurezza. In uno scenario di sviluppo di una piattaforma di pagamento, la stessa persona potrebbe definire le logiche di transazione e configurare i controlli di accesso ai dati finanziari sottostanti. Questa concentrazione di potere, sebbene efficiente operativamente, elimina i meccanismi di controllo incrociato, aumentando il rischio che errori, vulnerabilità o attività malevole non vengano rilevati tempestivamente.

2.6 Zero Trust Architecture (ZTA)

Il modello Zero Trust (ZT) rovescia il paradigma tradizionale "trust but verify", assumendo che nessuna entità, interna o esterna al perimetro di rete, sia intrinsecamente affidabile. Ogni richiesta di accesso a una risorsa deve essere autenticata, autorizzata e crittografata dinamicamente, basandosi su policy granulari e sul contesto [20]. La Zero Trust Architecture (ZTA) è una risposta strategica alla dissoluzione dei perimetri tradizionali, caratterizzati da risorse dislocate nel cloud, utenti che operano in remoto e una crescente interconnessione. Per una startup fintech, l'adozione completa di un'architettura Zero Trust è un percorso complesso e oneroso. Le fasi iniziali possono vedere una singola figura tecnica con "chiavi del regno" per l'intera infrastruttura cloud, contravvenendo al principio di verifica continua per ogni accesso. Implementare la micro-segmentazione a livello di rete e applicativo, sistemi di Identity and Access Management (IAM) sofisticati con policy dinamiche, e piattaforme di monitoraggio continuo (ad esempio, Extended Detection and Response, XDR) richiede investimenti significativi in tecnologie e competenze specialistiche, spesso al di là della portata immediata di una startup. La mancanza di SoD (già definita) esacerba ulteriormente il problema, rendendo difficile l'applicazione di policy di accesso granulari e la loro revisione costante.

2.7 Economia del Meccanismo

Formulato da Saltzer e Schroeder, questo principio di progettazione della sicurezza enfatizza la necessità di mantenere i meccanismi di protezione il più semplici e piccoli possibile [21]. Una minore complessità riduce la superficie d'attacco, facilita l'analisi, l'audit, i test e la manutenzione, minimizzando la probabilità di errori di implementazione o configurazione e l'accumulo di debito tecnico con implicazioni per la sicurezza [22]. Strategie includono:

- Architetture a microservizi ben definite, con confini di responsabilità chiari e API (già definite) sicure, per isolare l'impatto di una compromissione.
- Adozione di IaC (già definita) per una gestione dichiarativa, versionata e auditabile dei controlli di sicurezza.
- Preferenza per librerie e componenti con un focus specifico e una base di codice ridotta e ben testata.

Nelle startup fintech, la spinta verso un Minimum Viable Product (MVP) e successivi rapidi cicli di iterazione può favorire l'integrazione di framework complessi o la creazione di monoliti applicativi che, pur accelerando lo sviluppo iniziale, diventano rapidamente difficili da manutenere e securizzare. La tentazione di aggiungere "solo un'altra feature" senza un adeguato refactoring può portare a un aumento della complessità e, di conseguenza, a una maggiore fragilità della sicurezza. Un investimento precoce nella semplicità architetturale e nella modularità, sebbene possa sembrare un rallentamento, si traduce in una riduzione dei costi di remediation e testing nel lungo periodo.

2.8 Impostazioni Sicure per Difetto (Fail-Safe Defaults)

Questo principio, anch'esso di Saltzer e Schroeder, stabilisce che l'accesso a risorse e funzionalità debba essere negato per default, richiedendo un'autorizzazione esplicita (approccio di tipo allow-list) piuttosto che permettere tutto tranne ciò che è esplicitamente negato (approccio di tipo deny-list) [21]. In assenza di un permesso esplicito, l'azione deve essere bloccata. La pubblicazione NIST SP 800-27rA, pur non usando la stessa terminologia, supporta concetti affini enfatizzando la necessità di configurazioni sicure di base [23]. Esempi applicativi:

- Policy Deny All su firewall di rete e WAF (già definito), con regole granulari per il traffico legittimo.

- Policy IAM cloud (ad esempio, AWS IAM, Azure RBAC, Google Cloud IAM) che partono da uno stato di nessun permesso, aggiungendo solo le autorizzazioni minime necessarie.
- Disabilitazione di funzionalità non essenziali e porte non utilizzate su server e servizi.

Nelle startup fintech, la pressione per la velocità può portare a trascurare questo principio. È frequente che i servizi cloud vengano istanziati con le configurazioni di default del provider, che non sempre sono le più restrittive (ad esempio, bucket Simple Storage Service (S3) accessibili pubblicamente in passato, o ruoli IAM con permessi eccessivi). La mentalità del "facciamolo funzionare, poi lo sistemiamo" spesso relega la revisione e l'hardening delle configurazioni a una fase successiva, che potrebbe non arrivare mai o arrivare troppo tardi, esponendo dati sensibili. L'utilizzo di template IaC pre-configurati con standard di sicurezza restrittivi può mitigare questo rischio, ma richiede una disciplina iniziale.

2.9 Mediazione Completa

Ogni accesso a ogni oggetto protetto (file, record, endpoint API) deve essere validato rispetto ai controlli di autorizzazione ogni singola volta, senza fare affidamento su decisioni di accesso memorizzate o cache che potrebbero essere obsolete o compromesse [21]. Questo previene il bypass dei meccanismi di sicurezza dopo un'autenticazione iniziale. Implementazioni pratiche:

- API Gateway che validano token di autenticazione/autorizzazione (ad esempio, JSON Web Token, JWT) per ogni richiesta.
- Applicazione di Row-Level Security (RLS) e Column-Level Security nei database per garantire che le policy siano applicate direttamente a livello di dato.
- Meccanismi di step-up authentication per operazioni ad alto rischio.

In una piattaforma fintech che gestisce pagamenti o dati di investimento, questo principio è cruciale. Ad esempio, l'utilizzo di token di sessione a breve scadenza (short-lived) e la richiesta di ri-autenticazione forte (MFA, già definita) per operazioni critiche come la modifica dei dettagli del beneficiario, l'iniziazione di trasferimenti sopra una certa soglia, o l'accesso a informazioni particolarmente sensibili, sono applicazioni dirette della mediazione completa. Non ci si può fidare di una sessione utente "attiva" per troppo tempo o per operazioni di impatto elevato.

2.10 Resilienza Cibernetica (Cyber Resiliency)

La resilienza cibernetica è la capacità di un sistema di anticipare, resistere, recuperare e adattarsi a condizioni avverse, stress, attacchi o compromissioni, preservando le funzionalità critiche mission-critical [24]. Le strategie includono ridondanza dinamica, degradazione controllata dei servizi (graceful degradation), archiviazione sicura e immutabile dei log per analisi forense e ripristino, e piani di risposta agli incidenti ben definiti e testati. Per le startup fintech, spesso operanti in ambienti cloud con risorse DevOps (già definite) limitate, la resilienza deve essere progettata fin dall'inizio. Questo implica non solo backup e restore, ma anche piani di BCP e DR (già definiti) che considerino scenari di indisponibilità regionale del cloud provider o attacchi ransomware. L'adozione di pratiche di chaos engineering, seppur in forma semplificata, può aiutare a identificare proattivamente le debolezze del sistema e a validare la robustezza dei meccanismi di recovery.

2.11 Responsabilizzazione e Non-Ripudio (Accountability and Non-Repudiation)

L'accountability richiede che ogni azione significativa sia tracciabile univocamente a un'entità (utente o processo) e che esistano prove verificabili di tali azioni [25]. La non-ripudiabilità garantisce che una parte non possa negare di aver eseguito un'azione o inviato/ricevuto dati (ad esempio, una transazione finanziaria) [26]. Firme digitali, marche temporali qualificate e log di audit dettagliati e immutabili sono strumenti chiave. Esempi:

- Log di audit granulari (ad esempio, chi ha fatto cosa, quando, da dove, su quale risorsa), firmati digitalmente, marcati temporalmente (RFC 3161), e archiviati in sistemi Write Once Read Many (WORM) o con Object Lock.
- Uso di firme digitali per transazioni e comunicazioni critiche.

Per le startup fintech, questi principi sono fondamentali per la conformità normativa (ad esempio, Payment Services Directive 2 (PSD2), che impone Strong Customer Authentication (SCA) e tracciabilità delle transazioni) e per la gestione delle dispute. La capacità di dimostrare in modo inconfondibile l'origine e l'integrità di ogni operazione finanziaria è un requisito non negoziabile. La PSD2, ad esempio, attraverso i suoi Regulatory Technical Standards (RTS) su SCA e Common and Secure Communication (CSC), enfatizza la necessità di generare e conservare prove delle transazioni e degli accessi sicuri [27].

2.12 Privacy by Design (PbD) e Privacy by Default

Il framework della Privacy by Design (PbD), concettualizzato da Ann Cavoukian, postula l'integrazione proattiva della protezione dei dati personali fin dalle prime fasi di progettazione di sistemi, servizi, prodotti e processi di business, rendendo la privacy un'impostazione predefinita (Privacy by Default) [28]. I sette principi fondanti includono: proattività, privacy come impostazione di default, privacy incorporata nel design, piena funzionalità (somma positiva, non somma zero tra privacy e funzionalità), sicurezza end-to-end, visibilità e trasparenza, e rispetto per la privacy dell'utente. Misure concrete:

- **Minimizzazione dei Dati:** Raccolta, trattamento e conservazione dei soli dati personali strettamente necessari e pertinenti alle finalità dichiarate.
- **Tecniche di Anonimizzazione e Pseudonimizzazione (Privacy Enhancing Technologies, PETs):** Applicazione di tecniche come differential privacy, k-anonymity, crittografia omomorfica (homomorphic encryption), o pseudonimizzazione per dataset analitici, sviluppo, test, o condivisione con terze parti.
- **Mappatura e Valutazione d'Impatto sulla Protezione dei Dati (Data Protection Impact Assessment, DPIA):** Mantenimento di registri delle attività di trattamento (Art. 30 del General Data Protection Regulation, GDPR) e conduzione di DPIA per trattamenti a rischio elevato.

Nel settore fintech, dove si trattano enormi volumi di dati personali e finanziari altamente sensibili, l'adozione di PbD è un imperativo legale (GDPR) ed etico. Implementare sistemi di Data Loss Prevention (DLP), classificare i dati fin dall'inizio, e integrare controlli sulla privacy nei cicli di sviluppo agile (ad esempio, "privacy stories" nelle sprint) sono pratiche essenziali. Questo non solo mitiga il rischio di violazioni dei dati, sanzioni e danni reputazionali, ma costruisce anche la fiducia degli utenti, un asset inestimabile per qualsiasi fintech.

2.12.1 Conclusioni Preliminari del Capitolo

I principi di cybersecurity che abbiamo qui delineato – dalla Triade CIA alla Privacy by Design – rappresentano le fondamenta su cui ogni startup fintech deve costruire la propria strategia di sicurezza. Tuttavia, come si è osservato, la loro applicazione rigorosa si scontra frequentemente con le dinamiche operative tipiche delle aziende in fase di avviamento: la scarsità di risorse finanziarie e umane

specializzate, la pressione per un rapido ingresso e affermazione sul mercato, e la necessità di mantenere un'elevata agilità operativa. Questa tensione intrinseca non deve però tradursi in una rinuncia alla sicurezza, bensì in un approccio strategico che integri questi principi in modo pragmatico e progressivo, prioritizzando i controlli in base al rischio e alla criticità dei dati e dei processi coinvolti. Comprendere queste sfide è il primo passo per sviluppare architetture e soluzioni di sicurezza che siano non solo tecnicamente valide, ma anche sostenibili ed efficaci nel peculiare contesto di una startup fintech. Nei capitoli successivi esploreremo come tali principi possano essere tradotti in architetture e controlli tecnologici specifici, tenendo conto di queste sfide.

Capitolo 3

Principi dell'Infrastruttura Cloud e Scelta di AWS

Dopo aver introdotto le sfide di cybersecurity specifiche per le startup fintech, risulta fondamentale comprendere il contesto tecnologico in cui queste operano. Attualmente, la stragrande maggioranza delle nuove imprese, specialmente nel settore tecnologico e finanziario, basa la propria infrastruttura su modelli di **cloud computing**. Questo capitolo esplora i motivi di tale scelta, confrontando l'approccio cloud con quello tradizionale on-premises, e introduce **Amazon Web Services (AWS)**, il provider cloud prescelto per il nostro caso studio, delineandone la struttura e i principi fondamentali.

3.1 Fondamenti di Cloud Computing

Il *cloud computing* (elaborazione tramite nuvola informatica) si configura come un modello di fruizione IT "*on-demand*" che abilita l'accesso ubiquo e conveniente via rete a un pool condiviso di risorse computazionali configurabili (quali reti, server, storage, applicazioni e servizi), le quali possono essere predisposte o rilasciate rapidamente con il minimo sforzo di gestione o intervento da parte del provider [29].

Il modello di cloud computing definito dal *National Institute of Standards and Technology (NIST)* si articola su cinque caratteristiche essenziali che ne delineano la natura e il funzionamento. Queste caratteristiche sono cruciali per comprendere come il cloud si differenzi da altre forme tradizionali di gestione delle risorse IT e perché esso rappresenti un'evoluzione significativa per l'erogazione di servizi digitali. Si analizzano di seguito tali caratteristiche in dettaglio:

- **Autoservizio on-demand (On-demand self-service):** Gli utenti hanno la possibilità, in autonomia e senza l'intervento diretto del fornitore di servizi, di approvvigionarsi delle risorse di cui necessitano (come spazio di archiviazione, potenza di calcolo, ecc.) mediante interfacce self-service, spesso accessibili via web [29].
- **Accesso ampio alla rete (Broad network access):** Le risorse cloud sono accessibili attraverso la rete tramite meccanismi standard (ad esempio, browser web, applicazioni mobili), favorendo così l'utilizzo da dispositivi eterogenei quali smartphone, tablet, laptop e workstation [29].
- **Resource pooling (Multitenancy):** Le risorse del fornitore vengono raggruppate per servire più clienti (tenant) utilizzando un modello multi-tenant, in cui risorse fisiche e virtuali sono assegnate e riassegnate dinamicamente in base alla domanda dei vari utenti. Tale approccio garantisce efficienza e ottimizzazione nell'impiego dell'infrastruttura [29].
- **Rapid elasticity (Scalabilità rapida ed elasticità):** Le capacità possono essere scalate rapidamente, spesso in modo automatico, in base alle necessità dell'utente. Dal punto di vista del cliente, le risorse disponibili appaiono frequentemente illimitate e possono essere acquisite in qualsiasi quantità e in qualsiasi momento [29].
- **Servizio misurato (Measured service):** I sistemi cloud controllano e ottimizzano automaticamente l'uso delle risorse tramite capacità di misurazione appropriate (ad esempio, monitoraggio dell'archiviazione, dell'elaborazione, della larghezza di banda). Questo consente trasparenza sia per il provider sia per il consumatore del servizio [29].

3.1.1 Modelli di servizio e distribuzione cloud

I principali modelli di servizio e distribuzione cloud si rivelano fondamentali per l'innovazione e la crescita delle startup fintech. Essi permettono di accedere a risorse tecnologiche avanzate in modo flessibile e scalabile, spesso con una riduzione dei costi iniziali, accelerando l'innovazione e migliorando l'agilità operativa [30], [31]. La comprensione di questi modelli è cruciale per le startup fintech che mirano a bilanciare efficienza, sicurezza e conformità normativa. Secondo lo standard internazionale ISO/IEC 17788, i modelli di servizio e di distribuzione offrono diverse opzioni per l'adozione del cloud [32].

Modelli di servizio cloud

I modelli di servizio definiscono il livello di controllo e gestione dell'infrastruttura cloud da parte dell'utente. I tre modelli principali, *Infrastructure as a Service (IaaS)*, *Platform as a Service (PaaS)* e *Software as a Service (SaaS)*, offrono diversi gradi di astrazione [33].

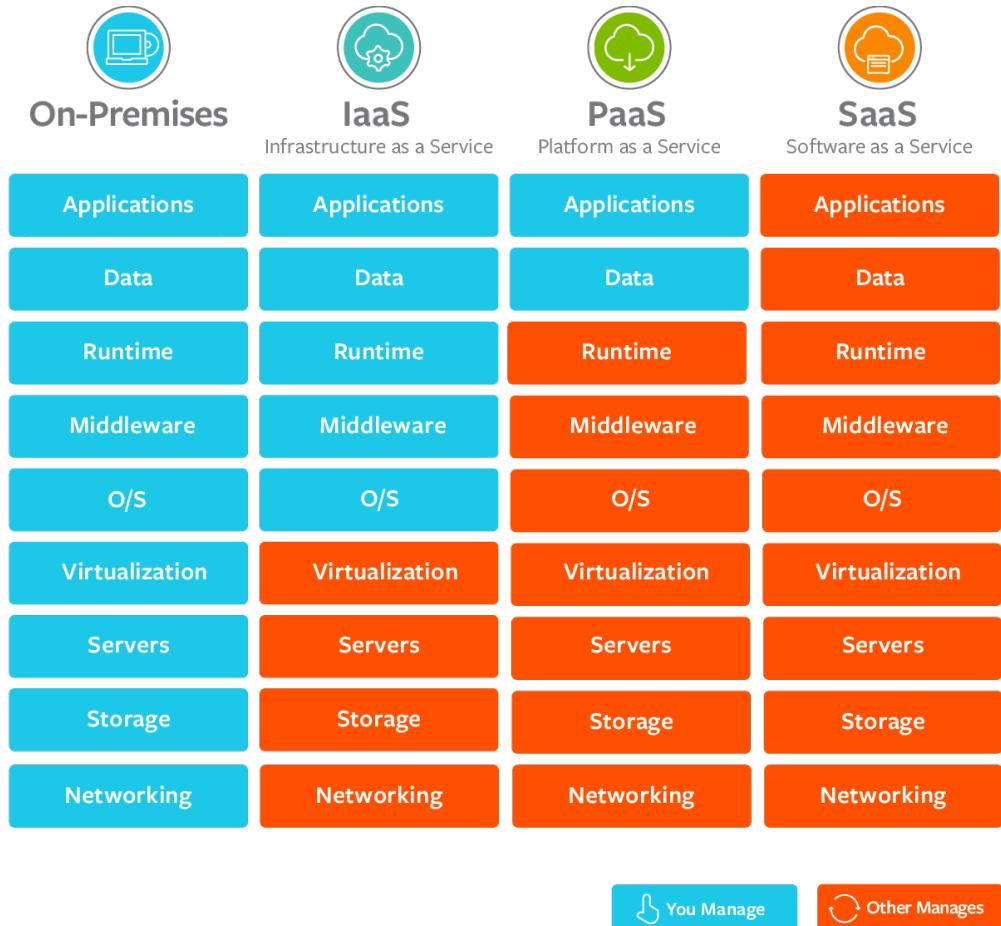


Figura 3: Modelli di Servizio Cloud

- **IaaS (Infrastructure as a Service):** questo modello fornisce infrastruttura IT on-demand, quali server, macchine virtuali, storage e rete, gestita dal provider cloud [33]. Le startup fintech possono così costruire e configurare ambienti IT complessi senza investire in hardware fisico, riducendo i costi di avvio e manutenzione [30]. L'elasticità dell'IaaS consente di scalare rapidamente le risorse in base alla crescita del business o ai picchi di utilizzo, una caratteristica cruciale nel dinamico settore fintech [30], [31].

- **PaaS (Platform as a Service):** questo modello fornisce una piattaforma completa, comprensiva di sistema operativo, middleware e strumenti di sviluppo, pronta per la creazione, l'esecuzione e la gestione di applicazioni [33]. Il provider gestisce l'infrastruttura sottostante, permettendo agli sviluppatori fintech di concentrarsi sull'innovazione del software [30]. Ciò accelera il time-to-market di nuovi servizi finanziari e favorisce l'adozione di tecnologie avanzate come l'intelligenza artificiale e l'analisi dei dati [30].
- **SaaS (Software as a Service):** questo modello offre applicazioni software pronte all'uso accessibili tramite Internet, come sistemi di *Customer Relationship Management (CRM)* o piattaforme di pagamento [33]. Le startup fintech possono integrare rapidamente soluzioni di terze parti nei propri processi, ottimizzando le risorse e focalizzandosi sull'esperienza utente e sull'innovazione dei servizi [30].

Questi modelli di servizio sono stati analizzati in studi sistematici e bibliometrici, i quali hanno evidenziato come la loro adozione, specialmente in contesti agili come le Piccole e Medie Imprese (PMI) e le startup fintech, apporti benefici in termini di flessibilità, riduzione dei costi e scalabilità [30], [31].

Modelli di distribuzione del cloud

I modelli di distribuzione definiscono come l'infrastruttura cloud è resa disponibile e a chi è dedicata. I principali modelli includono il *cloud pubblico (public cloud)*, il *cloud privato (private cloud)*, il *cloud ibrido (hybrid cloud)* e il *cloud comunitario (community cloud)* [32], [34].

- **Public Cloud:** l'infrastruttura è di proprietà di un provider terzo (ad esempio, AWS, Azure, Google Cloud) e condivisa tra più clienti via Internet [34]. Per le startup fintech, il public cloud offre alta scalabilità e costi operativi proporzionali all'uso, risultando ideale per lanciare servizi senza investimenti iniziali significativi [34]. Tuttavia, la condivisione delle risorse può sollevare preoccupazioni per la sicurezza e il controllo diretto, aspetti critici per i dati finanziari [30], [34].
- **Private Cloud:** l'infrastruttura è dedicata a una singola organizzazione, garantendo livelli superiori di controllo, sicurezza e conformità normativa [34]. Questo aspetto è essenziale per le fintech che trattano dati sensibili. Lo svantaggio principale risiede nei costi più elevati e nella minore scalabilità immediata rispetto al cloud pubblico [34].

- **Hybrid Cloud:** questo modello combina ambienti pubblici e privati, permettendo di spostare carichi di lavoro in base alle necessità [34]. Una startup fintech può utilizzare il public cloud per servizi meno critici e il private cloud per dati regolamentati, bilanciando flessibilità, scalabilità, sicurezza e compliance [34]. Tuttavia, l'adozione del cloud ibrido nel settore fintech presenta sfide di sicurezza specifiche, che possono essere mitigate, ad esempio, attraverso l'uso della tecnologia *blockchain* (catena di blocchi) per garantire la compliance e la protezione dei dati sensibili [30], [35]. La gestione efficace di un ambiente ibrido è cruciale per ottimizzare i costi e mantenere la coerenza con i requisiti normativi [34].

3.1.2 Cloud Computing vs Infrastrutture On-Premises

Tradizionalmente, le aziende gestivano la propria infrastruttura IT internamente, in data center di proprietà o in affitto. Questo modello è noto come **on-premises** (infrastruttura locale). Esso richiede l'acquisto di hardware (server, storage, apparati di rete), software (sistemi operativi, licenze) e l'impiego di personale specializzato per la gestione, la manutenzione, gli aggiornamenti e la sicurezza fisica ed operativa.

Il **cloud computing**, al contrario, si basa sull'erogazione di risorse informatiche (come potenza di calcolo, storage, database, reti, software, analytics, intelligenza artificiale) tramite Internet, secondo un modello *pay-as-you-go* (pagamento basato sul consumo effettivo). I fornitori di servizi cloud, denominati *Cloud Service Provider (CSP)*, come AWS, Microsoft Azure o Google Cloud Platform, gestiscono l'infrastruttura fisica sottostante, permettendo ai clienti di accedere alle risorse di cui hanno bisogno in modo flessibile e scalabile.

Le differenze principali risiedono nei seguenti aspetti:

- **Costi:** L'approccio on-premises richiede un ingente investimento iniziale, noto come *Capex (Capital Expenditure)*, per l'acquisto dell'hardware, mentre il cloud trasforma questo costo in una spesa operativa variabile, definita *Opex (Operational Expenditure)*, basata sul consumo effettivo.
- **Scalabilità:** Il cloud offre una scalabilità *elastica*, permettendo di aumentare o diminuire le risorse quasi istantaneamente in base alla domanda. L'infrastruttura on-premises presenta una scalabilità limitata e richiede pianificazione e acquisti anticipati per gestire picchi di carico.
- **Manutenzione:** Nel cloud, la manutenzione dell'hardware e dell'infrastruttura di base è responsabilità del provider, liberando il team IT del cliente da tali incombenze.

- **Agilità e Velocità:** Il cloud permette di predisporre nuove risorse in pochi minuti, accelerando notevolmente i cicli di sviluppo e il *time-to-market* (tempo di immissione sul mercato) di nuovi prodotti o servizi.
- **Affidabilità e Portata Globale:** I principali CSP dispongono di data center ridondati in diverse regioni geografiche, offrendo alta disponibilità e la possibilità di distribuire applicazioni a livello globale con bassa latenza.

3.1.3 Perché le Startup Scelgono il Cloud

Per le startup, e in modo particolarmente accentuato per quelle operanti nel dinamico settore fintech che richiedono elevata agilità e una gestione efficiente delle risorse, il modello cloud computing offre vantaggi strategici e operativi decisivi rispetto alle tradizionali infrastrutture on-premises. Tali vantaggi includono:

- **Riduzione delle Barriere all’Ingresso e Ottimizzazione dei Costi:** L’eliminazione di ingenti investimenti iniziali in hardware e software (Capex) rende accessibili tecnologie avanzate anche a entità con budget limitati. Il modello di pagamento basato sul consumo effettivo (Opex) permette di allineare i costi direttamente alla crescita e all’utilizzo reale delle risorse.
- **Agilità e Adattabilità delle Risorse:** Le startup possono avviare le proprie operazioni con un dimensionamento infrastrutturale minimo, per poi espandere o contrarre rapidamente le risorse in risposta alle dinamiche del mercato o alla crescita della base utenti e del volume transazionale. Questa capacità è fondamentale nel fintech, dove la domanda può essere volatile e imprevedibile. Le modalità tecniche attraverso cui si realizza tale agilità, ovvero scalabilità ed elasticità, saranno analizzate in dettaglio nel prosieguo della sezione.
- **Focalizzazione Strategica sul Core Business:** Delegando la gestione, la manutenzione e l’aggiornamento dell’infrastruttura IT al Cloud Service Provider (CSP), la startup può concentrare le proprie risorse umane e finanziarie, spesso limitate, sullo sviluppo del prodotto, sull’innovazione di servizio e sull’acquisizione di quote di mercato, piuttosto che sulla complessa gestione dei sistemi.
- **Accelerazione del Time-to-Market:** La capacità di predisporre e depredisporre rapidamente ambienti di sviluppo, test e produzione consente di abbreviare significativamente i cicli di rilascio di nuove funzionalità e servizi, un fattore competitivo critico in settori ad alta innovazione come il fintech.

- **Accesso a Tecnologie Avanzate e Servizi Gestiti:** I CSP mettono a disposizione un vasto portafoglio di servizi all'avanguardia, pronti all'uso e gestiti, che includono database performanti, piattaforme di machine learning, strumenti di big data analytics e soluzioni di sicurezza. L'implementazione e la gestione autonoma di tali tecnologie on-premises comporterebbero costi e complessità proibitivi per la maggior parte delle startup.
- **Elevati Livelli di Resilienza, Disponibilità e Sicurezza Infrastrutturale:** I CSP investono massicciamente in infrastrutture ridondanti e geograficamente distribuite, offrendo elevati livelli di disponibilità (tipicamente garantiti da *Service Level Agreement - SLA*, accordi sul livello di servizio) e resilienza operativa, spesso superiori a quanto una startup potrebbe garantire autonomamente. Questo si combina con solide fondamenta di sicurezza fisica e operativa dei data center (sebbene la sicurezza nel cloud, relativa ai dati e alle applicazioni, rimanga una responsabilità condivisa e primariamente del cliente).

Questi vantaggi traggono origine, a livello infrastrutturale, da caratteristiche intrinseche dei modelli cloud che risultano particolarmente sinergiche con le esigenze del fintech. Tra queste, spiccano la scalabilità, la flessibilità e l'elasticità, le cui specificità verranno ora analizzate.

Scalabilità (Scalability): Si riferisce alla capacità intrinseca di un sistema di incrementare la propria capacità elaborativa e di gestione dei dati per far fronte a un aumento del carico di lavoro. Tale incremento può essere pianificato (ad esempio, in previsione di una crescita organica del numero di utenti o di transazioni) e si attua mediante l'aggiunta di risorse (*scale-out*, aggiungendo più nodi) o l'aumento della potenza dei nodi esistenti (*scale-up*, incrementando le risorse di un singolo nodo). Per una startup fintech, la scalabilità assicura che l'infrastruttura possa supportare l'espansione del business e gestire volumi di domanda crescenti, anche se caratterizzati da ciclicità prevedibile (ad esempio, picchi di fine mese per elaborazione stipendi o rendicontazioni).

Flessibilità (Flexibility): Concerne la possibilità di scegliere, configurare e modificare un'ampia gamma di risorse, servizi e modelli operativi offerti dalla piattaforma cloud. Include la facoltà di selezionare diverse tipologie di istanze computazionali, opzioni di storage, database, servizi di intelligenza artificiale, strumenti di networking e sicurezza. Per una startup fintech, la flessibilità si traduce nella capacità di sperimentare rapidamente nuove soluzioni, integrare servizi di terze parti, adattarsi a requisiti normativi mutevoli o modificare l'architettura applicativa senza vincoli infrastrutturali stringenti. Oltre alla vasta gamma di opzioni tecnologiche, la flessibilità si estende ai modelli contrattuali e di pricing

(ad esempio, istanze on-demand, reserved instances, spot instances), consentendo un'ulteriore ottimizzazione dei costi in base a profili di utilizzo specifici e alla strategia finanziaria della startup.

Elasticità (Elasticity): Rappresenta una forma dinamica e, idealmente, automatizzata di scalabilità. L'elasticità permette al sistema di allocare e deallocare risorse computazionali (come capacità di calcolo, memoria o banda) in maniera automatica e in tempo reale, in risposta a fluttuazioni immediate e spesso imprevedibili del carico di lavoro [36]. A differenza della scalabilità, che può implicare interventi pianificati, l'elasticità reagisce autonomamente a picchi improvvisi (*burst*) o a cali repentini della domanda, ottimizzando sia le prestazioni che i costi.

La sinergia di queste tre caratteristiche – scalabilità, flessibilità ed elasticità – consente alle startup fintech di ottimizzare l'allocazione dei costi infrastrutturali, aderendo pienamente al principio del "pay-per-use" (pagamento basato sull'effettivo consumo), e di garantire livelli prestazionali adeguati e resistenti. Questa sinergia è particolarmente vitale per le startup fintech, che operano in un mercato caratterizzato da un'intensa competizione, una rapida evoluzione delle aspettative dei consumatori e una continua innovazione tecnologica, richiedendo la massima reattività e capacità di adattamento per mantenere e incrementare la propria competitività.

3.1.4 Introduzione ad Amazon Web Services (AWS)

Tra i principali fornitori di servizi cloud, **Amazon Web Services (AWS)** si posiziona come leader di mercato e rappresenta la scelta infrastrutturale per moltissime startup a livello globale, incluse quelle operanti nel settore fintech, come nel caso studio di questa tesi. Lanciato nel 2006, AWS offre un portafoglio estremamente ampio e maturo di servizi cloud.

La struttura di AWS si basa su alcuni concetti chiave:

- **Infrastruttura Globale:** AWS opera attraverso una rete mondiale di **Regioni**. Ogni Regione è un'area geografica fisica separata (ad esempio, Irlanda, Francoforte, Nord Virginia). All'interno di ciascuna Regione, esistono multiple **Zone di Disponibilità (Availability Zones - AZ)**. Una AZ è costituita da uno o più data center discreti, con alimentazione, raffreddamento e rete ridondanti. Le AZ all'interno di una Regione sono interconnesse con reti a bassa latenza ma sono fisicamente separate per garantire l'isolamento in caso di guasti (come incendi o allagamenti). Questa architettura permette di costruire applicazioni altamente disponibili e tolleranti ai guasti, distribuendole su più AZ.

- **Servizi Fondamentali:** AWS offre centinaia di servizi, ma alcuni sono considerati fondamentali:
 - **Compute:** Servizi per l'esecuzione di codice, come *Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2)* per macchine virtuali scalabili, *AWS Lambda* per l'esecuzione di codice serverless (senza la gestione di server), e servizi container come *Amazon Elastic Container Service (ECS)* ed *Amazon Elastic Kubernetes Service (EKS)*.
 - **Storage:** Servizi per l'archiviazione dei dati, come *Amazon Simple Storage Service (Amazon S3)* per lo storage a oggetti altamente duraturo e scalabile, *Amazon Elastic Block Store (Amazon EBS)* per volumi a blocchi destinati alle istanze EC2, e *Amazon Elastic File System (Amazon EFS)* per file system condivisi.
 - **Database:** Una vasta gamma di database gestiti, inclusi database relazionali (*Amazon Relational Database Service - Amazon RDS*), NoSQL (*Amazon DynamoDB*), data warehouse (*Amazon Redshift*), ecc.
 - **Networking:** Servizi per definire e controllare la rete virtuale, come *Amazon Virtual Private Cloud (Amazon VPC)* per creare reti isolate, *Elastic Load Balancing (ELB)* per distribuire il traffico, e *AWS Direct Connect* per connessioni dedicate.
 - **Security, Identity, & Compliance:** Servizi per gestire accessi, sicurezza e conformità, come *AWS Identity and Access Management (IAM)*, *AWS Key Management Service (KMS)*, *AWS Web Application Firewall (WAF)*, *Amazon GuardDuty* (per il rilevamento delle minacce).
- **Modello Pay-as-you-go:** Come accennato, si paga solo per le risorse effettivamente consumate, senza contratti a lungo termine o costi iniziali (per la maggior parte dei servizi).
- **Modello di Responsabilità Condivisa (Shared Responsibility Model):** È cruciale comprendere che la sicurezza su AWS è una responsabilità condivisa. AWS è responsabile della sicurezza *del* cloud (l'infrastruttura fisica, la rete, l'hypervisor), mentre il cliente è responsabile della sicurezza *nel* cloud (la configurazione dei servizi, la gestione degli accessi, la protezione dei dati, la sicurezza del sistema operativo e delle applicazioni).

3.1.5 Il Caso Specifico: AWS per la Startup fintech

La selezione di AWS quale infrastruttura cloud per la startup fintech oggetto di questa tesi è il risultato di una valutazione strategica, basata su fattori tecnici e

di business specifici. Oltre ai benefici generali offerti dal cloud computing, AWS presenta caratteristiche particolarmente determinanti per un operatore del settore finanziario:

- **Maturità e Affidabilità:** Essendo il provider cloud più longevo e con la più vasta quota di mercato, AWS vanta una comprovata esperienza nella gestione di carichi di lavoro *mission-critical* (critici per la missione aziendale). Tale affidabilità è essenziale per un settore, come quello finanziario, che richiede massima operatività e fiducia da parte degli utenti.
- **Aampiezza dei Servizi:** Il vasto portafoglio di servizi AWS permette di costruire architetture complesse, resilienti e moderne. Esso consente di integrare nativamente servizi per l'analisi avanzata dei dati, il machine learning (fondamentale, ad esempio, per sistemi antifrode, credit scoring o personalizzazione dei servizi finanziari), e la gestione sicura delle transazioni.
- **Supporto alla Compliance:** AWS offre documentazione dettagliata, strumenti e servizi specifici (come AWS Artifact per l'accesso ai report di compliance) che aiutano le organizzazioni a soddisfare i rigorosi standard di conformità richiesti nel settore finanziario, tra cui PCI DSS, GDPR, ISO 27001 e normative locali specifiche. AWS stessa mantiene numerose certificazioni internazionali per la propria infrastruttura, fornendo una base solida su cui costruire applicazioni conformi.
- **Scalabilità e Performance Elevate:** La capacità di scalare le risorse in modo elastico e di garantire alte prestazioni è fondamentale per gestire picchi transazionali improvvisi (ad esempio, durante l'apertura dei mercati o in seguito a campagne promozionali) e assicurare tempi di risposta rapidi, critici per l'esperienza utente nei servizi finanziari.
- **Ecosistema di Partner Specializzati:** Esiste un vasto ecosistema di partner tecnologici e di consulenza con competenze specifiche su AWS, inclusi numerosi attori con expertise verticale nel settore fintech, in grado di supportare la startup in fasi di progettazione, implementazione e gestione.
- **Servizi di Sicurezza Avanzati e Stratificati:** AWS offre un set robusto e profondo di strumenti nativi per implementare controlli di sicurezza a molteplici livelli (rete, identità, dati, rilevamento delle minacce, crittografia), aspetti che verranno analizzati in dettaglio nei capitoli successivi.

Nei capitoli successivi, si analizzerà in dettaglio come l'infrastruttura di questa specifica startup fintech sia stata progettata e messa in sicurezza sfruttando i servizi e le *best practice* (migliori pratiche) offerte da AWS, con un focus sulle implicazioni e le scelte architetturali per un operatore del settore finanziario.

3.1.6 Infrastruttura Globale AWS: Fondamenta per la fintech

Amazon Web Services (AWS) dispone di una infrastruttura globale altamente distribuita: nel 2025 il cloud AWS è esteso su 36 Regioni geografiche (ciascuna costituita da più Availability Zone) per un totale di 114 Availability Zones lanciate [37]. Ogni Regione AWS rappresenta un'area geografica distinta, fisicamente isolata dalle altre per garantire *fault tolerance* (tolleranza ai guasti) e permettere il rispetto dei requisiti regolamentari sulla sovranità dei dati [37]. All'interno di ogni Regione sono presenti almeno tre *Availability Zone (AZ)*, concepite come data center indipendenti dal punto di vista dell'alimentazione, del raffreddamento e della connettività di rete fisica, pur essendo interconnesse tramite collegamenti privati ridondanti ad alta velocità e bassa latenza [37].

Questo design multi-AZ è particolarmente critico per una startup fintech: la capacità di resistere a guasti localizzati (come un'interruzione di corrente in un data center o un evento catastrofico limitato a una singola AZ) senza interruzione del servizio è fondamentale per mantenere la continuità operativa nelle transazioni finanziarie, preservare la fiducia degli utenti e rispettare potenziali requisiti normativi sulla disponibilità dei servizi. Secondo AWS, ciò garantisce un'elevata disponibilità dell'infrastruttura e contiene l'impatto di eventuali interruzioni all'interno della Regione interessata [37].

Per supportare applicazioni globali a bassa latenza, cruciali per l'esperienza utente nei servizi finanziari digitali, AWS integra inoltre le *Edge Location* (punti di presenza perimetrali) e le *Local Zone* (zone locali). Le Edge Location (oltre 700 nel mondo) sono data center che ospitano servizi come Amazon CloudFront, una *Content Delivery Network (CDN)* (rete per la consegna di contenuti) che permette la consegna rapida di contenuti statici e dinamici agli utenti finali. CloudFront instrada le richieste al *punto di presenza (PoP)* geograficamente più vicino all'utente, minimizzando la latenza [38]. Le Local Zone sono estensioni dell'infrastruttura AWS posizionate strategicamente vicino a grandi centri urbani o industriali, progettate per offrire latenze nell'ordine dei millisecondi a singola cifra per scenari applicativi specifici (ad esempio, sistemi di trading ad alta frequenza, elaborazione di pagamenti in tempo reale o applicazioni di realtà aumentata per servizi finanziari).

Il backbone di rete globale AWS, basato su una dorsale in fibra ottica ridondata che interconnette le Regioni con capacità fino a 400 Gb/s [39], è un altro asset fondamentale. Tutti i dati che transitano su questa rete globale tra i data center e le Regioni AWS vengono crittografati automaticamente a livello fisico prima di lasciare le strutture protette [39]. Il cliente, inoltre, mantiene il pieno controllo

sui propri dati, inclusa la facoltà di applicare ulteriori livelli di crittografia utilizzando servizi dedicati. Questa solida infrastruttura di rete non solo garantisce performance elevate, ma la crittografia automatica dei dati in transito aggiunge un livello di sicurezza fondamentale per i dati finanziari sensibili.

Dal punto di vista di una startup fintech, una siffatta infrastruttura globale distribuita offre vantaggi tangibili. La possibilità di collocare geograficamente le risorse permette di posizionare le applicazioni e i dati vicino agli utenti finali o in specifiche giurisdizioni per soddisfare requisiti di bassa latenza (cruciali per l'esperienza utente in app finanziarie) e di sovranità dei dati (come il GDPR). L'ampia rete backbone e la sua crittografia intrinseca proteggono le comunicazioni inter-regionali, essenziali ad esempio per strategie di disaster recovery. Le Edge Location, tramite CloudFront, possono accelerare significativamente l'erogazione di interfacce web o API rivolte ai clienti, migliorando la reattività delle piattaforme fintech, un fattore competitivo chiave.

3.1.7 Architettura Virtualizzata e Meccanismi di Scalabilità per la fintech

Le risorse computazionali su AWS sono erogate principalmente attraverso tecnologie di *virtualizzazione*. Su ogni server fisico (host) viene eseguito un *hypervisor* (monitor di macchine virtuali), un software che astrae l'hardware sottostante e crea molteplici istanze virtuali isolate tra loro. In AWS, la virtualizzazione, storicamente basata su hypervisor Xen e più recentemente sul sistema AWS Nitro (che include un hypervisor leggero basato su KVM, Kernel-based Virtual Machine) [40], consente di eseguire su un singolo server fisico decine di *macchine virtuali (VM)* indipendenti, ciascuna con il proprio sistema operativo e le proprie applicazioni [41]. L'hypervisor assegna a ogni VM una porzione dedicata di CPU, memoria e storage, garantendo l'isolamento delle risorse e della sicurezza tra le istanze [41].

Grazie alla virtualizzazione, più tenant (clienti AWS) possono condividere in modo sicuro lo stesso hardware fisico sottostante; questo è il concetto di *multitenancy* (multi-locazione), definito dal NIST come un'architettura in cui "una singola istanza di un software gira su un server ed è usata da più tenant" [29]. In pratica, anche in un modello multitenant come quello di AWS, ogni cliente opera all'interno del proprio ambiente virtuale logicamente isolato, con i propri dati segregati, grazie a meccanismi di isolamento di rete (ad esempio, *Virtual Private Cloud - VPC*) e alle garanzie fornite dal software di virtualizzazione. Per una startup fintech, il modello multitenant, pur offrendo significativi vantaggi in termini di costi e agilità, richiede un'attenta valutazione e l'implementazione di robuste strategie di isolamento a livello applicativo e di rete, complementari a quelle fornite da AWS, per garantire la segregazione e la protezione dei dati finanziari sensibili.

La virtualizzazione è il fulcro dell'offerta IaaS di AWS. Come delineato nel modello di responsabilità condivisa (descritto in seguito), AWS gestisce l'infrastruttura fisica sottostante (hardware, networking, data center, patching dell'hypervisor), mentre il cliente mantiene il controllo sul sistema operativo guest, sugli aggiornamenti software, sulle configurazioni di sicurezza dell'ambiente virtuale e sulle applicazioni [42]. Ad esempio, quando si avvia un'istanza Amazon EC2 (il servizio IaaS di AWS), AWS fornisce la macchina virtuale, ma è responsabilità del cliente gestirne il sistema operativo, le patch di sicurezza e il software applicativo. Questa astrazione permette di orchestrare e scalare migliaia di istanze virtuali con un elevato grado di automazione.

Per gestire la crescita del carico di lavoro e le fluttuazioni della domanda, tipiche del settore fintech, AWS offre due principali meccanismi di scalabilità:

- La **scalabilità verticale** (scale-up) consiste nell'aumentare le risorse di una singola istanza (ad esempio, incrementando CPU, RAM o capacità di I/O del disco) [43]. Questa strategia può essere utile per carichi di lavoro monolitici o database, ma presenta limiti fisici intrinseci e può introdurre un *single point of failure* (singolo punto di guasto) se non gestita con ridondanza. Per una startup, può essere una soluzione iniziale, ma la sua limitata resilienza la rende meno adatta per carichi di lavoro critici nel settore fintech a lungo termine.
- La **scalabilità orizzontale** (scale-out) implica la distribuzione del carico di lavoro su più istanze o nodi, replicando l'applicazione [43]. Ad esempio, si possono avviare più istanze EC2 identiche dietro un bilanciatore di carico (come Elastic Load Balancing). In questo modo, il traffico utente viene distribuito tra le VM disponibili, e il sistema può tollerare il guasto di singole istanze senza interrompere il servizio. La scalabilità orizzontale è particolarmente vantaggiosa per le applicazioni fintech, che spesso sperimentano fluttuazioni significative nel carico di lavoro (ad esempio, durante l'apertura dei mercati, eventi promozionali, o picchi di fine mese per elaborazioni contabili). La capacità di aggiungere o rimuovere istanze dinamicamente, spesso gestita da servizi come AWS Auto Scaling [43], permette alla startup di mantenere performance ottimali e controllare i costi in modo efficiente, pagando solo per le risorse effettivamente utilizzate.

Per massimizzare la disponibilità delle applicazioni, un requisito non negoziabile per i servizi finanziari, in AWS si progetta attivamente per la resilienza utilizzando repliche *multi-AZ* (distribuite su più Zone di Disponibilità). Ad esempio, il servizio Amazon RDS consente di creare istanze database in configurazione Multi-AZ: quando questa opzione è abilitata, AWS provvede automaticamente a

creare e mantenere una replica sincrona (standby) del database primario in una Availability Zone differente all'interno della stessa Regione [44]. Tutte le modifiche al database primario vengono replicate in tempo reale alla standby. In caso di guasto dell'istanza primaria o dell'intera AZ in cui risiede, RDS gestisce un *failover* (passaggio automatico alla replica) trasparente alla replica standby, minimizzando i tempi di indisponibilità, noti come *Recovery Time Objective (RTO)*. Questa funzionalità è di importanza critica per una startup fintech, poiché la perdita di accesso al database transazionale principale potrebbe comportare l'interruzione dei servizi, perdite finanziarie e danni reputazionali significativi. Analogamente, servizi come Elastic Load Balancing possono e devono essere configurati per distribuire il traffico su istanze dislocate in multiple AZ, garantendo che un'interruzione locale sia compensata dagli altri nodi attivi. Le scelte architetturali per l'alta disponibilità includono quindi l'uso sistematico di configurazioni multi-AZ, il bilanciamento del carico e la replica dei dati (eventualmente su più Regioni per il *disaster recovery*, recupero da disastro).

Nei casi estremi di disastro che potrebbero compromettere un'intera Regione AWS, è necessario implementare strategie di Disaster Recovery (DR) più complesse, come delineato nel Well-Architected Framework di AWS [45]. Tra queste strategie si annoverano:

- **Backup and Restore (Backup e Ripristino):** Utilizzo di snapshot periodici dei dati (ad esempio, archiviati su Amazon S3 e Amazon S3 Glacier) e template infrastrutturali (ad esempio, AWS CloudFormation) per ricreare l'infrastruttura e ripristinare i dati in una Regione secondaria. È la strategia con RTO e *Recovery Point Objective (RPO)* (obiettivo del punto di ripristino, ovvero la massima perdita di dati accettabile) più elevati.
- **Pilot Light (Fiamma Pilota):** Mantenimento di una copia minima dell'infrastruttura (core infrastrutturale) e dei dati critici costantemente replicati nella Regione di DR. Le risorse applicative principali vengono attivate solo in caso di disastro.
- **Warm Standby (Standby Tiepido):** Mantenimento di una versione scalata ridotta, ma pienamente funzionante, dell'applicazione nella Regione di DR, pronta a gestire il traffico in caso di failover.
- **Multi-site Active/Active (o Hot Standby, Standby Caldo):** L'applicazione è dispiegata e attivamente serve traffico contemporaneamente in due o più Regioni, con meccanismi di bilanciamento del carico geografico. È la strategia più complessa e costosa, ma offre l'RTO e l'RPO più bassi.

La scelta della strategia di DR per una startup fintech dipenderà da una valutazione del rischio, dai requisiti normativi (spesso stringenti nel settore finanziario

per quanto riguarda la continuità operativa e i tempi di ripristino) e dal budget disponibile. AWS fornisce strumenti come AWS Resilience Hub [46] per aiutare a definire, testare e monitorare la postura di resilienza delle applicazioni, assicurando che i tempi di recovery (RTO) e la perdita massima di dati accettabile (RPO) siano allineati con le esigenze di business e i requisiti di compliance.

3.1.8 Modello di Responsabilità Condivisa: Implicazioni per la fintech

La sicurezza nel cloud AWS opera secondo il *modello di responsabilità condivisa* (*Shared Responsibility Model*) [47]. Questo modello distingue nettamente le responsabilità di AWS da quelle del cliente. In sintesi, AWS è responsabile della *sicurezza "del" cloud* ("*security of the cloud*"). Ciò include la protezione dell'infrastruttura fisica e globale che esegue tutti i servizi AWS: l'hardware, il software di base (hypervisor, sistemi operativi dei servizi gestiti), la rete e le strutture fisiche (data center), compresi i controlli fisici e ambientali. AWS investe significativamente in misure quali sorveglianza 24/7, rigorosi controlli degli accessi fisici alle strutture, ridondanza dei sistemi e patching dell'infrastruttura sottostante [47].

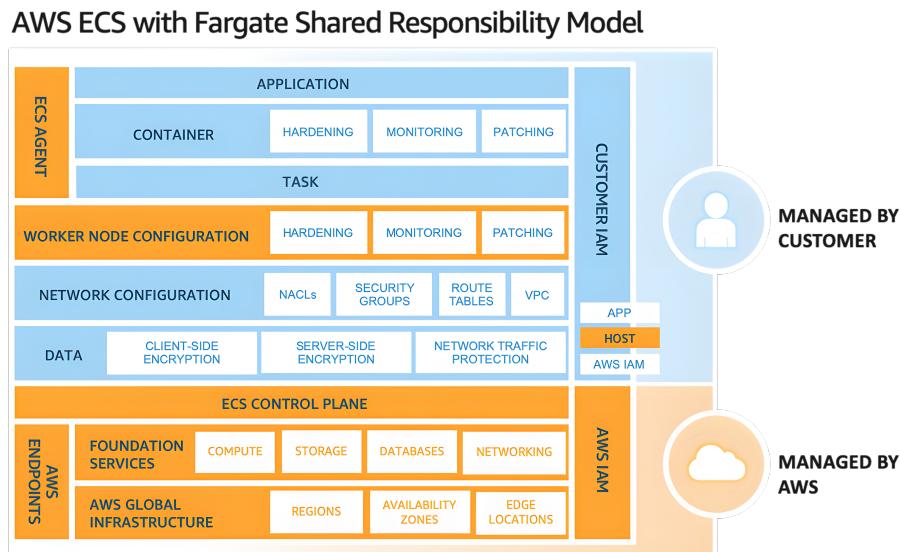


Figura 4: Modello di Responsabilità Condivisa di AWS

D'altro canto, il cliente è responsabile della *sicurezza "nel" cloud* ("*security in the cloud*"). La natura e l'estensione di questa responsabilità dipendono dai servizi

AWS scelti e dalla loro astrazione. Ad esempio, per un servizio IaaS come Amazon EC2, il cliente deve gestire la sicurezza del sistema operativo guest (installazione di patch, hardening), di tutte le applicazioni e software installati, e la configurazione dei controlli di rete a livello di istanza (come i Security Group, che agiscono da firewall stateful) e di sottorete (Network ACLs, liste di controllo accessi di rete) [47]. Per servizi più astratti o gestiti, come Amazon S3 (storage) o Amazon DynamoDB (database NoSQL), AWS gestisce l'infrastruttura sottostante, il sistema operativo e la piattaforma applicativa. Tuttavia, spetta al cliente proteggere i dati che carica e le applicazioni che vi accedono: ciò include la corretta configurazione delle policy di accesso (tramite AWS Identity and Access Management - IAM), la cifratura dei dati sensibili (a riposo e in transito, se non gestita nativamente dal servizio per specifici casi d'uso), la gestione delle chiavi di crittografia e l'applicazione di criteri di rete appropriati [47]. In pratica, AWS fornisce gli strumenti e i meccanismi di sicurezza (crittografia, isolamento di rete, logging e auditing, ecc.), ma la loro corretta implementazione, configurazione e la gestione operativa della sicurezza applicativa e dei dati rimangono a carico del cliente.

Per una startup fintech, una profonda e continua comprensione di questo modello è fondamentale: essa guida l'allocazione delle risorse interne dedicate alla sicurezza, la definizione dei processi di compliance (ad esempio, per PCI DSS o GDPR, dove la startup deve dimostrare di aver adempiuto alle proprie responsabilità), la progettazione di controlli di sicurezza specifici per i dati finanziari e le transazioni dei propri clienti, e la corretta configurazione dei servizi AWS per costruire un ambiente sicuro e resiliente. La mancata comprensione di queste responsabilità può portare a vulnerabilità significative e a non conformità normative.

Bibliografia

- [1] Gartner, *Rapporto sugli investimenti globali fintech*, Investimenti globali in fintech: crescita e trend, 2018.
- [2] *Tecnofinanza - Wikipedia*, Accesso: 2023-10-01. indirizzo: <https://it.wikipedia.org/wiki/Tecnofinanza>.
- [3] *fintech: quali sono le startup e i numeri in Italia*, Accesso: 2023-10-01. indirizzo: https://blog.osservatori.net/it_it/fintech-in-italia.
- [4] W. Zhang, Y. Wu e M. Liu, «Digital payment systems: Risks and mitigation,» *Journal of Financial Innovation*, vol. 6, n. 2, 2020.
- [5] A. Milne e P. Parboteeah, «The business models and economics of peer-to-peer lending,» *European Credit Research Institute*, 2016.
- [6] L. Hornuf e A. Schwienbacher, «Internet-based entrepreneurial finance: Lessons from German crowdfunding markets,» *Journal of Corporate Finance*, vol. 50, pp. 556–591, 2018.
- [7] M. Eling e M. Lehmann, «The impact of digitalization on the insurance value chain and the regulatory response,» *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, vol. 43, pp. 359–396, 2018.
- [8] C. Catalini e J. Gans, «Some simple economics of the blockchain,» *NBER Working Paper No. 22952*, 2016.
- [9] Anonimo, *Le sfide della cybersecurity nelle startup fintech*, Rapporto sul rischio e le vulnerabilità in ambito fintech, 2023.
- [10] Anonimo, *Differenze tra Cybersecurity Bancaria e fintech*, Analisi comparativa degli approcci di sicurezza, 2023.
- [11] T. Puschmann, «fintech,» *Business & Information Systems Engineering*, vol. 59, n. 1, pp. 69–76, feb. 2017, ISSN: 1867-0202. DOI: 10.1007/s12599-017-0464-6. indirizzo: <https://doi.org/10.1007/s12599-017-0464-6>.

- [12] G. Kaur, Z. Habibi Lashkari e A. Habibi Lashkari, «Introduction to Cybersecurity,» in *Understanding Cybersecurity Management in fintech: Challenges, Strategies, and Trends*. Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 17–34, ISBN: 978-3-030-79915-1. DOI: 10.1007/978-3-030-79915-1_2. indirizzo: https://doi.org/10.1007/978-3-030-79915-1_2.
- [13] 2024. indirizzo: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/853540/Kauppinen_Teppo.pdf?sequence=2&isAllowed=y.
- [14] Anonimo, *Minacce informatiche nel settore fintech*, Analisi delle tipologie di attacchi e delle vulnerabilità in ambito fintech, 2023.
- [15] J. Cawthra, M. Ekstrom, L. Lusty, J. Sexton, J. Sweetnam e A. Townsend, «Data Integrity: Detecting and Responding to Ransomware and Other Destructive Events,» National Institute of Standards e Technology, rapp. tecn. 1800-26A, dic. 2020.
- [16] National Institute of Standards and Technology (NIST), *Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations*, SP 800-53 Rev. 5, NIST, 2020. indirizzo: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-53r5.pdf>.
- [17] N. I. of Standards e Technology, «Enhanced Security Requirements for Protecting Controlled Unclassified Information,» National Institute of Standards e Technology, rapp. tecn. 800-172, 2021.
- [18] N. I. of Standards e Technology, *Least Privilege - Glossary*, NIST Computer Security Resource Center, 2015.
- [19] N. I. of Standards e Technology, *OSCAL Content with Separation of Duties*, NIST, 2021.
- [20] S. Rose, O. Borchert, S. Mitchell e S. Connelly, «Zero Trust Architecture,» National Institute of Standards e Technology, rapp. tecn. 800-207, ago. 2020.
- [21] J. H. Saltzer e M. D. Schroeder, «The Protection of Information in Computer Systems,» *Proceedings of the IEEE*, vol. 63, n. 9, pp. 1278–1308, 1975. DOI: 10.1109/PROC.1975.9939. indirizzo: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1451869>.
- [22] R. E. Smith, «A Contemporary Look at Saltzer and Schroeder's 1975 Design Principles,» *IEEE Security & Privacy*, vol. 10, n. 6, pp. 20–25, 2012. DOI: 10.1109/MSP.2012.85.

- [23] G. Stoneburner, C. Hayden e A. Feringa, «Engineering Principles for Information Technology Security (A Baseline for Achieving Security), Revision A,» National Institute of Standards e Technology, NIST Special Publication 800–27rA, giu. 2004. DOI: 10.6028/NIST.SP.800-27rA. indirizzo: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-27rA>.
- [24] R. Ross, V. Pillitteri, R. Graubart, D. Bodeau e R. McQuaid, «Developing Cyber-Resilient Systems: A Systems Security Engineering Approach, Volume 2,» National Institute of Standards e Technology, NIST Special Publication 800–160 Vol. 2, nov. 2019. DOI: 10.6028/NIST.SP.800-160v2. indirizzo: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-160v2>.
- [25] J. Feigenbaum, A. D. Jaggard e R. N. Wright, «Accountability in Computing: Concepts and Mechanisms,» *Foundations and Trends® in Privacy and Security*, vol. 2, n. 4, pp. 247–399, 2020. DOI: 10.1561/3300000002.
- [26] National Institute of Standards and Technology. «NIST Computer Security Resource Center Glossary: *Non-repudiation*.» Accessed 27 May 2025. indirizzo: https://csrc.nist.gov/glossary/term/non_reputation.
- [27] *open banking europe: security & identification standards for apis & communications open banking europe -providing collaborative services to support psd2 xs2a, in partnership with the financial industry.* indirizzo: <https://www.openbankingeurope.eu/media/1943/oasis-ob-e-api-identification-and-security-standards-for-apis-and-communications.pdf>.
- [28] A. Cavoukian, «Privacy by Design: The 7 Foundational Principles,» Information e Privacy Commissioner of Ontario, rapp. tecn., 2009. indirizzo: <https://www.ipc.on.ca/wp-content/uploads/resources/7foundationalprinciples.pdf>.
- [29] P. Mell e T. Grance, *The NIST Definition of Cloud Computing*, 2011. indirizzo: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>.
- [30] M. Vats, S. Gambhir e M. Gomathy, «A Systematic Review of the Impact of Cloud Computing on fintech Industry,» *BCIIT eJournal*, vol. 1, n. 1, pp. 37–44, 2024. indirizzo: https://bciiit.ac.in/pdf/eJournal/Issue1/6.Mansi_A%20Systematic%20Review%20of%20the%20Impact%20of%20Cloud%20Computing%20on%20fintech%20Industry_37-44.pdf.
- [31] Homan, Beránek et al., «Cloud Computing Adoption in SMEs: Exploring IaaS, PaaS, and SaaS through a Bibliometric Study,» *HRMARS*, 2025. indirizzo: https://hrmars.com/papers_submitted/24452/cloud-computing-adoption-in-smes-exploring-iaas-paas-and-saas-through-a-bibliometric-study.pdf.

- [32] Anonymous, «Overview of Service and Deployment Models Offered by Cloud Computing, based on International Standard ISO/IEC 17788,» *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2018. indirizzo: https://www.academia.edu/91325535/Overview_of_Service_and_Deployment_Models_Offered_by_Cloud_Computing_based_on_International_Standard_ISO_IEC_17788.
- [33] Red Hat, *Significato di IaaS, PaaS e SaaS - Cloud computing*, <https://www.redhat.com/it/topics/cloud-computing/iaas-vs-paas-vs-saas>, Accessed 2025-01-21, 2025.
- [34] Maticmind, «Modelli di distribuzione tipici del Cloud Computing,» 2024, Accessed 2025.
- [35] Anonymous, «Security Considerations for Hybrid Cloud Deployments in fintech Using Blockchain,» *Journal of Artificial Intelligence, Machine Learning and Data Science*, 2024. indirizzo: <https://urfjournals.org/open-access/security-considerations-for-hybrid-cloud-deployments-in-fintech-using-blockchain.pdf>.
- [36] «Above the Clouds: A Brief Survey,» *arXiv preprint*, ago. 2019, Survey exploring cloud computing concepts and applications, with focus on low-cost and dynamic scaling benefits for developing world companies. indirizzo: <https://arxiv.org/abs/1908.02124>.
- [37] A. W. Services, *Global Infrastructure*, 2024. indirizzo: <https://aws.amazon.com/about-aws/global-infrastructure/>.
- [38] A. W. Services, *Amazon CloudFront*, 2024. indirizzo: <https://aws.amazon.com/cloudfront/>.
- [39] A. W. Services, *AWS Networking*, 2024. indirizzo: <https://aws.amazon.com/products/networking/>.
- [40] A. W. Services, *AWS Nitro Hypervisor*, 2024. indirizzo: <https://aws.amazon.com/ec2/nitro/>.
- [41] IBM, *What Is Infrastructure as a Service (IaaS)?* <https://www.ibm.com/topics/iaas>, Accessed: [Inserisci data accesso], 2024.
- [42] A. W. Services, *AWS Well-Architected Framework*, 2024. indirizzo: <https://aws.amazon.com/architecture/well-architected/>.
- [43] *What is Amazon EC2 Auto Scaling?* Accessed: 2025-03-10, 2025. indirizzo: <https://docs.aws.amazon.com/autoscaling/ec2/userguide/what-is-amazon-ec2-auto-scaling.html>.

- [44] A. W. Services, *Amazon RDS Multi-AZ Deployments*, <https://docs.aws.amazon.com/AmazonRDS/latest/UserGuide/Concepts.MultiAZ.html>, Accessed: [Inserisci data accesso se necessario], 2024.
- [45] *AWS Well-Architected Framework*, Accessed: 2025-03-10, 2024. indirizzo: <https://docs.aws.amazon.com/wellarchitected/latest/framework/welcome.html>.
- [46] A. W. Services, *AWS Resilience Hub*, 2024. indirizzo: <https://aws.amazon.com/resilience-hub/>.
- [47] A. W. Services, *AWS Shared Responsibility Model*, 2024. indirizzo: <https://aws.amazon.com/compliance/shared-responsibility-model/>.