



L'impatto ambientale dello Storage Decentralizzato: Un'analisi comparativa

Ricerca sull'impatto ambientale delle diverse metodologie di archiviazione dati e valutazione delle emissioni di carbonio associate.

Sommario

Sintesi	3
La Sfida della Crescita dei Dati	4
Fattori Chiave nell'Archiviazione dei Dati	5
Fattore #1: Fabbisogno Energetico dei Data Center	5
Fattore #2: Impatto della Produzione dei Drive	6
Presupposti dell'Analisi	8
Un Approccio Sostenibile allo Storage dei Dati	8
L'Innovazione dello Storage Decentralizzato	9
5 Strategie di Riduzione delle Emissioni	10
1. Ottimizzazione della Capacità Esistente	10
2. Estensione del Ciclo di Vita	10
3. Riduzione della Replicazione	10
4. Ottimizzazione della Distribuzione Geografica	11
5. Bilanciamento HDD-SSD Intelligente	11
Metodologia di Calcolo	12
Modello di Stima dei Risparmi di Carbonio	12
Risultati	13
Appendice A: Parametri e Assunzioni	14
Impatto Carbonio Operativo	14
Overhead Infrastrutturale	14
Vita Utile dei Dispositivi	14
Fattori di Utilizzo	14
Appendice B: Considerazioni per il Raffinamento del Modello	15
1. Impatto delle Letture	15
2. Ottimizzazione SSD	15
3. Mix Energetico	15
4. Tipologie di Drive	15
5. Considerazioni sul Raffreddamento	15
6. Configurazioni Alternative	15
Appendice C: Bibliografia	16
Formula di Calcolo del Risparmio di CO ₂	17
Per 1 TB di dati su periodo triennale:	17
Conversione per MB:	17

Sintesi

La crescita esponenziale della datasfera globale rappresenta una sfida significativa per la sostenibilità ambientale. L'archiviazione e la distribuzione dei dati contribuiscono in modo crescente all'impronta di carbonio globale.

L'analisi dell'impatto ambientale dello storage dei dati deve considerare non solo il consumo energetico operativo dei dispositivi di archiviazione, ma anche l'impronta di carbonio derivante dalla loro produzione e trasporto. Le ricerche dimostrano che questi fattori spesso superano l'impatto del funzionamento stesso dei dispositivi. Un aspetto critico emerge dalla sottoutilizzazione diffusa dei drive di storage - la maggior parte opera ben al di sotto della propria capacità massima, pur consumando quasi la stessa energia di un drive utilizzato pienamente.

La ricerca evidenzia tre aree chiave per la riduzione dell'impronta di carbonio:

1. Massimizzazione della vita utile e dell'utilizzo dei drive esistenti
2. Ottimizzazione della ridondanza dei dati
 - Per garantire la durabilità
 - Per assicurare distribuzione geografica e performance
3. Bilanciamento efficiente tra storage HDD e SSD

Certiblok offre una soluzione di storage cloud compatibile S3 enterprise-grade che sfrutta la capacità inutilizzata di drive gestiti indipendentemente a livello globale. Questo documento analizza i costi in termini di carbonio dello storage cloud centralizzato, esamina l'approccio differenziato di Certiblok e presenta un modello per stimare i risparmi di CO₂ ottenibili.

Le analisi indicano una riduzione potenziale delle emissioni di carbonio del 66-83% per TB di dati su un periodo di tre anni, equivalente a oltre 200 kg CO₂/TB.

La sfida della Crescita dei Dati

Secondo le proiezioni IDC, nel 2020 sono stati generati o replicati 64,2 zettabyte di dati. Le previsioni indicano un tasso di crescita annuo composto (CAGR) del 23% tra il 2020 e il 2025, portando a oltre 180 zettabyte di dati creati e replicati nel 2025¹.

Durability (%)			
Copies	0.5% annual failure rate	1.0% annual failure rate	2.5% annual failure rate
1	99.501247919268200	99.004983374916800	97.530991202833200
2	99.995033208665900	99.980264677289000	99.879089572574900
3	99.999944379031300	99.999560004506000	99.993352635849300
4	99.999999343911600	99.999898669042200	99.999615316607400
5	99.99999992029700	99.999999750204800	99.999977080897800
6	99.9999999901300	99.99999993844600	99.999998608598100
7	99.9999999998700	99.999999999846300	99.999999914411300
8	99.9999999999900	99.99999999996100	99.99999994683800
9	99.9999999999900	99.9999999999900	99.99999999967300

Figura 1: Analisi della durabilità dei file in base al numero di copie e ai tassi di guasto attesi²

La replicazione dei dati rappresenta un fattore moltiplicativo significativo per la capacità di storage richiesta. Per garantire la durabilità dei dati, le organizzazioni tipicamente mantengono copie multiple attraverso diverse metodologie:

- Protezione contro guasti hardware
- Backup per recupero da errori umani
- Ridondanza geografica per disaster recovery
- Distribuzione regionale per ottimizzare l'accesso

La maggior parte degli hyperscaler memorizza un minimo di tre copie dei dati. La regola di backup 3-2-1 (conservare 3 copie dei dati, su 2 diversi tipi di supporti, con almeno 1 copia fuori sede) è una pratica comunemente citata³.

Se un'azienda ha bisogno di memorizzare 3 copie di un determinato set di dati, allora questi dati hanno un fattore di espansione di 3. Un TB funzionale di dati finisce per necessitare di 3 TB di capacità, distribuiti su 3 drive diversi, con i relativi costi economici e di carbonio di quei drive.

¹ Worldwide IDC Global DataSphere Forecast 2022-2026

² http://www.suaybarslan.com.tr/Reliability_Systems_14.pdf

³ [US Chamber 3-2-1 Backup Rule](#)

Per ottenere ragionevoli garanzie di durabilità, la maggior parte delle aziende si affida alla replicazione. La maggior parte dei provider di storage cloud replica i dati 3 volte all'interno di una regione per ottenere una durabilità sufficiente. Ma, se i dati devono essere memorizzati in più regioni, per il disaster recovery o per scopi di distribuzione, quel numero viene moltiplicato per il numero di regioni.

Fattori Chiave nell'Archiviazione dei Dati

Fattore #1: Fabbisogno Energetico dei Data Center

I data center globali consumano circa 416 terawattora di energia annualmente⁴, con alcune stime che arrivano fino a 770 terawattora⁵.

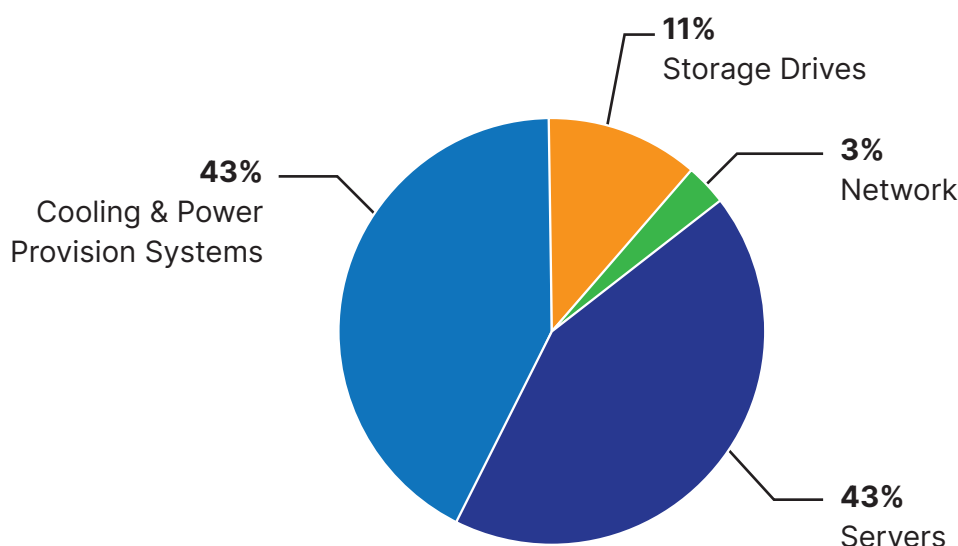


Figura 2: Ripartizione del consumo energetico nei data center statunitensi per categoria di utilizzo

L'11% del consumo energetico totale è direttamente attribuibile all'alimentazione dei drive. Una porzione significativa dell'energia utilizzata per raffreddamento, alimentazione, elaborazione e networking è inoltre correlata alla gestione e archiviazione dei dati⁶.

I principali provider cloud possono vantare un'efficienza carbonica superiore grazie a:

- Economia di scala nell'overhead dei data center
- Posizionamento strategico vicino a fonti energetiche pulite
- Ottimizzazione dell'utilizzo delle risorse

⁴ [C&C Tech Group - Understanding Data Center Energy Consumption](#)

⁵ [IEA Data Centers and Data Transmission Networks Report](#)

⁶ [Shehabi et. al. \(2016\). United States Data Center Energy Usage Report](#)

Due ulteriori considerazioni ambientali riguardano:

1. I refrigeranti utilizzati per il raffreddamento, spesso composti da sostanze chimiche dannose
2. Le batterie di backup, il cui ciclo di vita ha impatti significativi sull'ambiente

Fattore #2: Impatto della Produzione dei Drive

L'impronta ambientale dello storage non deriva solo dal consumo energetico operativo, ma anche dalla produzione, trasporto e smaltimento dei dispositivi.

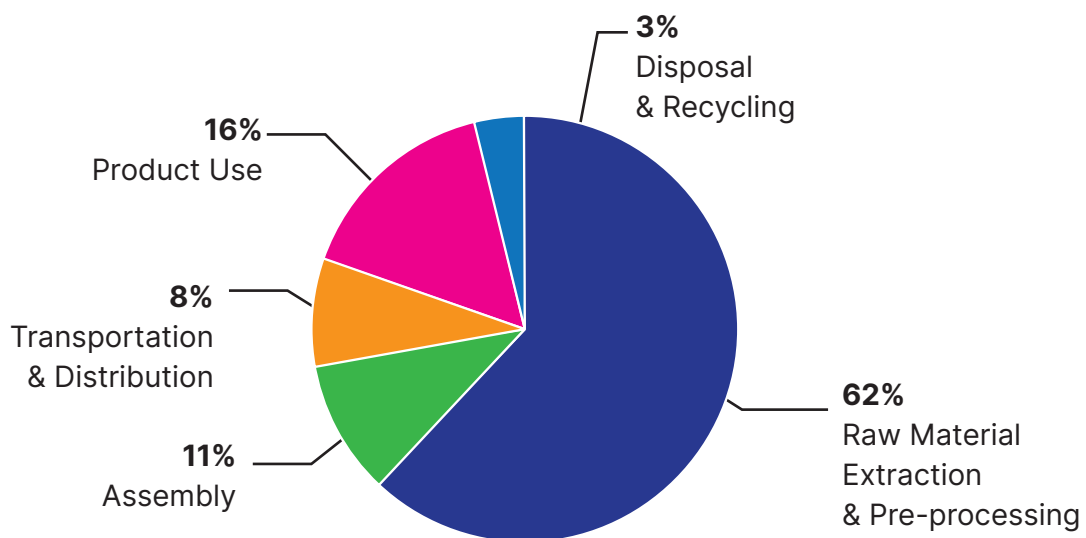


Figura 3: Distribuzione dell'impatto ambientale nelle fasi del ciclo di vita di un drive da 1TB⁷

Un'analisi del ciclo di vita di un drive Seagate Momentus da 1TB rivela che solo il 16% dell'impatto climatico deriva dal consumo energetico operativo. La maggior parte dell'impatto proviene da:

- Estrazione e pre-processamento materiali (62%)
- Assemblaggio (11%)
- Trasporto e distribuzione (8%)

Il processo produttivo⁸ inizia con l'estrazione di terre rare, principalmente in Cina, prosegue con la produzione di magneti in Giappone, l'assemblaggio degli attuatori in Malesia e l'assemblaggio finale in Thailandia. L'estrazione illegale di terre rare, stimata al 30% del totale, causa danni particolarmente gravi all'ambiente e alla salute pubblica.

Ogni anno quasi 1 miliardo di HDD raggiunge il fine vita, con la maggior parte che viene semplicemente distrutta con un recupero minimo di materiali⁹.

⁷ [Seagate life cycle analysis of the Momentus drive and impact on climate change](#)

⁸ [Hongyue Jin, et al, Life cycle assessment of emerging technologies on value recovery from hard disk drives](#)

⁹ [Mostafa Sabbaghi, et al, The Global Flow of Hard Disk Drives: Quantifying the Concept of Value](#)

Studi mostrano che il riutilizzo dei drive offre il maggior beneficio ambientale, con un risparmio di circa 5 kg di CO₂ per ogni semestre di vita estesa¹⁰

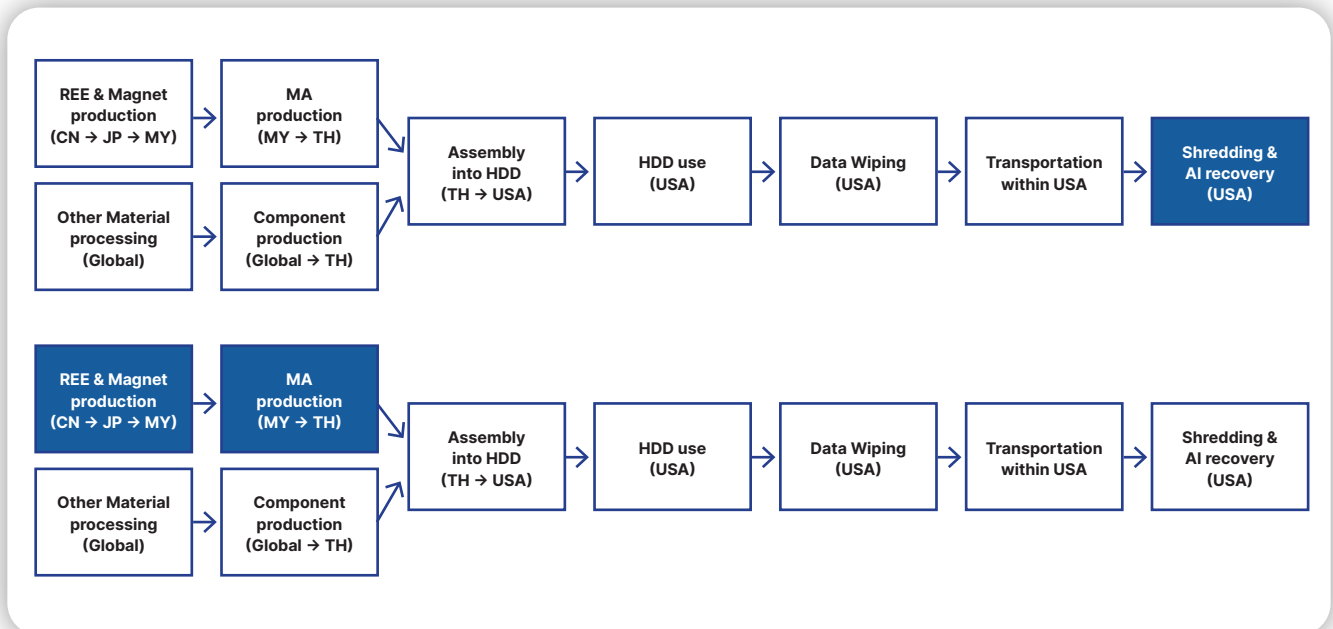


Figura 4: Rappresentazione del ciclo di vita tipico di un disco rigido¹¹

Anche per i dischi rigidi in uso costante, la loro produzione rappresenta una componente enorme dell'impatto climatico. Tannu e Nair, in un rapporto sul carbonio incorporato negli SSD, hanno utilizzato l'Analisi del Ciclo di Vita (LCA) dei produttori di 26 unità di varie dimensioni per stimare che la produzione di 1 TB di capacità HDD genera un'impronta di carbonio di circa 20 kg. L'alimentazione di quella capacità per una vita utile di cinque anni produce altri 76 kg di carbonio¹². Ma anche quella cifra di 20 kg potrebbe sottostimare l'enorme costo, sia in termini di carbonio che di altri impatti ambientali, della produzione dei dischi.

Riferendosi alla ricerca di Jin et al., l'impatto sul riscaldamento globale della produzione dei dischi è solo uno dei danni ambientali. Gli autori inquadrano la loro ricerca in termini di risparmio dal riutilizzo dei dischi rispetto ad altre forme di riciclaggio (ad esempio il riciclaggio degli attuatori o dei magneti).

[Leakage in E-waste Recovery Systems.](#)

¹⁰ [Hongyue Jin, et al, Life cycle assessment of emerging technologies on value recovery from hard disk drives](#)

¹¹ [Hongyue Jin, et al, Life cycle assessment of emerging technologies on value recovery from hard disk drives](#)

¹² [The Dirty Secret of SSDs: Embodied Carbon, Swamit Tannu University of Wisconsin-Madison and Prashant J Nair University of British Columbia.](#)

Impact category	Unit	HDD reuse	MA reuse	M2M	Hydro	Pyro	ER
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	3.7E-07	2.7E-07	1.1E-07	-4.2E-08	3.2E-07	-1.7E-08
Global Warming	kg CO ₂ eq	5.5	1.9	0.7	-0.30	0.02	0.01
Smog	kg CO ₃ eq	3.9E-01	1.7E-01	7.9E-02	8.5E-03	9.2E-02	2.4E-02
Acidification	kg SO ₂ eq	4.6E-02	5.5E-02	3.1E-02	9.4E-03	3.4E-02	1.4E-02
Eutrophication	kg N eq	1.2E-02	2.2E-02	1.2E-02	6.7E-03	4.3E-02	7.7E-03
Carcinogenics	CTUh	3.1E-07	1.8E-07	3.4E-08	-4.0E-08	3.5E-07	2.4E-08
Non carcinogenics	CTUh	1.4E-06	4.5E-07	1.6E-07	6.9E-07	9.7E-06	7.6E-07
Respiratory effects	kg PM2.5 eq	5.2E-03	5.2E-03	2.7E-03	-3.6E-05	2.7E-03	5.0E-04
Ecotoxicity	CTUe	3.2E+01	1.0E+01	2.3E+00	1.4E+01	2.1E+02	1.7E+01
Fossil fuel depletion	MJ surplus	5.9E+00	2.4E+00	8.9E-01	-3.7E-05	6.0E-01	1.0E-01

Figura 5: Confronto dei benefici ambientali tra diverse strategie di gestione del fine vita¹³

Il risparmio nella prima colonna della Figura 5 rappresenta ciò che si ottiene prolungando la vita del disco di 6 mesi, e quindi rappresenta circa il 10% del costo di produzione dell'intera vita del disco. Nel loro modello, il riscaldamento globale dalla produzione di un HDD non solo rappresenta 55 kg di CO₂, ma si osservano anche molti altri danni significativi durante la produzione come smog, eutrofizzazione, sostanze cancerogene ed ecotossicità.

Presupposti dell'Analisi

Le statistiche NRDC e IBM indicano che i server operano mediamente al 12-18% della capacità¹⁴, suggerendo un'enorme riserva di capacità di storage già prodotta ma sottoutilizzata. È importante notare che un drive consuma praticamente la stessa energia sia che operi al 20% che all'80% della capacità.

L'ottimizzazione dell'utilizzo della capacità esistente rappresenta quindi un'opportunità significativa per ridurre l'impronta di carbonio complessiva dello storage e della distribuzione dei dati.

Un Approccio Sostenibile allo Storage dei Dati

Come sottolineato da Vinod Khosla durante una presentazione a Stanford, per avere successo una tecnologia verde deve innanzitutto essere economicamente vantaggiosa¹⁵. L'obiettivo è ottenere benefici sia economici che ambientali, garantendo al contempo le caratteristiche essenziali nel mondo dei dati: durabilità, disponibilità, performance, sicurezza e privacy.

¹³ [Hongyue Jin, et al, Life cycle assessment of emerging technologies on value recovery from hard disk drives](#)

¹⁴ [Are Your Data Centers Keeping You From Sustainability?, IBM](#)

¹⁵ [Stanford Business: Vinod Khosla - Green Tech Must Make Economic Sense](#)

L'Innovazione dello Storage Decentralizzato

Certiblok fornisce uno storage oggetti cloud enterprise-grade compatibile con S3, sfruttando la capacità inutilizzata di drive gestiti indipendentemente a livello globale. I gestori dei nodi di storage distribuiti ricevono compensi per la capacità e la banda che forniscono alla rete.

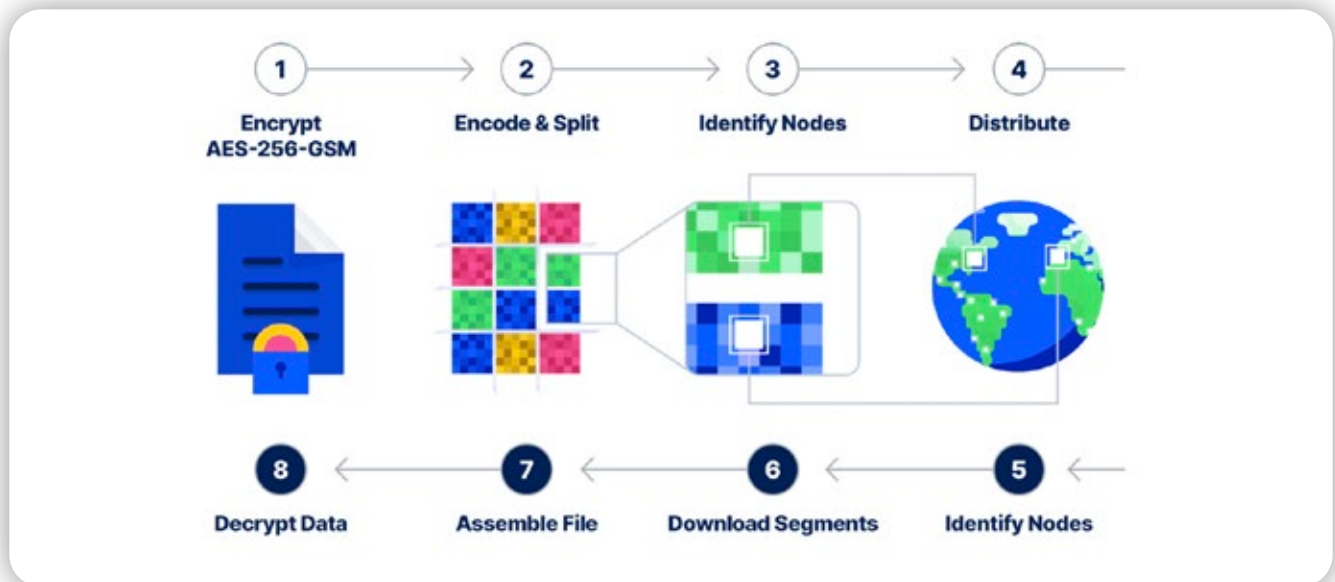


Figura 6: Architettura del sistema di storage decentralizzato Certiblok

Il sistema implementa:

1. Cifratura con AES-256
2. Codifica erasure e segmentazione
3. Identificazione intelligente dei nodi
4. Distribuzione geografica
5. Recupero ottimizzato
6. Riasssemblaggio efficiente
7. Decrittografia sicura

I file di grandi dimensioni vengono:

- Segmentati in unità da 64 MB crittografate
- Suddivisi in 80 frammenti con codifica erasure
- Distribuiti su drive diversi globalmente
- Ricostruibili con soli 29 frammenti

Questo approccio garantisce:

- Durabilità 11 9's16
- Performance globali superiori
- Sicurezza avanzata
- Uso più efficiente della capacità di storage esistente

5 Strategie di Riduzione delle Emissioni

1. Ottimizzazione della Capacità Esistente

I sondaggi mostrano che:

- 21% della capacità proviene da drive già operativi
- Minimo impatto incrementale di carbonio
- Costi marginali di operatività
- Utilizzo efficiente delle risorse esistenti

2. Estensione del Ciclo di Vita

La tecnologia permette di:

- Superare i limiti tradizionali di 3-5 anni
- Utilizzare drive fuori garanzia in modo sicuro
- Gestire i guasti attraverso l'erasure coding
- Ottenere durabilità elevata con ridondanza distribuita

3. Riduzione della Replicazione

Vantaggi rispetto ai sistemi tradizionali:

- Fattore di espansione 2.7x invece di 3x o più
- Protezione multi-regione integrata
- Resilienza contro eventi catastrofici
- Maggiore efficienza dello storage

¹⁶ La "Durabilità 11 9's" (o "eleven nines durability") si riferisce a una probabilità di conservazione dei dati del 99,999999999%. In termini pratici, questo significa che c'è solo una possibilità su 100 miliardi che un oggetto dati venga perso. Questo livello di durabilità è spesso pubblicizzato da servizi di storage cloud come Amazon S3 per indicare l'affidabilità estrema del loro sistema di archiviazione dati. Per contestualizzare: questa probabilità è così alta che è più probabile vincere la lotteria diverse volte di seguito che perdere un oggetto dati in un sistema con questa durabilità.

Certiblok non si affida alla replicazione 3-2-1 per ottenere durabilità e distribuzione, ma utilizza invece la codifica di cancellazione Reed Solomon¹⁷. Certiblok è in grado di raggiungere oltre 11 9 di durabilità con un fattore di espansione effettivo di $80/29 = 2,7$. Questo include la protezione multi-regione contro rischi che interessano i data center o addirittura intere aree geografiche, come incendi, inondazioni, interruzioni di corrente e disordini civili.

4. Ottimizzazione della Distribuzione Geografica

L'architettura decentralizzata offre vantaggi unici:

- Distribuzione automatica dei frammenti a livello globale
- Download da 29 nodi più veloci su 80 disponibili
- Performance localizzate senza replicazione aggiuntiva
- Accesso ottimizzato per ogni area geografica

Per esempio, un utente in Italia accederà a un insieme di nodi diverso rispetto a un utente a New York, garantendo performance eccellenti senza la necessità di copie dedicate per regione senza incrementare il fattore di espansione, riducendo sia i costi economici che di emissione di carbonio.

5. Bilanciamento HDD-SSD Intelligente

Molti casi d'uso richiedono l'utilizzo sia di HDD che di SSD. Per esempio, un tipico caso d'uso di distribuzione video avrà l'intera libreria di contenuti implementata su server di origine basati su HDD, le cui repliche sono collocate in diverse posizioni geografiche. Più vicino all'edge, i contenuti particolarmente "hot" saranno memorizzati in cache basate su SSD o in Content Delivery Networks (CDN). Tuttavia, i costi complessivi del ciclo di vita in termini di carbonio degli SSD sono quasi il doppio rispetto agli HDD¹⁸. Di conseguenza, ci sono significativi risparmi economici e di carbonio da ottenere nell'abilitare una distribuzione efficiente dello storage tra HDD e Solid State Drive (SSD).

La soluzione, adottata da Certiblok, riduce significativamente la necessità di molteplici server di origine basati su HDD, poiché esiste uno strato di storage distribuito globalmente e globalmente performante. Tuttavia, la velocità del sistema Certiblok significa anche che una percentuale significativa dei contenuti della libreria può essere servita in modo performante dall'origine stessa, invece di richiedere il caching basato su SSD. Mentre il caching basato su SSD è spesso ancora desiderabile per i contenuti più popolari, la quantità di storage basato su SSD può essere ridotta significativamente, con conseguenti risparmi di carbonio ed economici.

¹⁷ [Reed-Solomon erasure coding definition](#)

¹⁸ [The Dirty Secret of SSDs: Embodied Carbon, Swamit Tannu University of Wisconsin-Madison and Prashant J Nair University of British Columbia.](#)

Metodologia di Calcolo

Modello di Stima dei Risparmi di Carbonio

Il confronto dell'impatto di carbonio tra l'estrazione di terre rare e l'alimentazione di un drive coinvolge molte stime in buona fede. Come per la maggior parte degli altri calcoli sul risparmio di carbonio, non è possibile misurare con precisione i risparmi, ma riteniamo che i nostri calcoli siano una stima conservativa e robusta dei risparmi derivanti dall'utilizzo di Certiblok. I numeri nel modello rappresentano stime in buona fede che possono essere utilizzate per valutare il risparmio di CO2 derivante specificamente dall'utilizzo della rete a disposizione di Certiblok e, in generale, da tentativi simili di utilizzare meglio i dischi rigidi¹⁹.

Impatto di Carbonio delle Varie Modalità di Storage

	Modalità Tradizionali		Modalità Certiblok			
	Hyperscaler	Corporate DC	Certiblok Standard*	Certiblok Reused*	Certiblok New Nodes	Certiblok Blended
Costo annuale per TB al 100% di utilizzo (kg CO ₂)	20.9	20.9	2.3	18.0	21.3	16.6
Utilizzo (%)	75%	40%	85%	85%	85%	90%
Fattore Mix Energetico (%)			74.5%	74.5%	74.5%	0.7%
Costo Effettivo Carbonio/TB-Anno (kg CO ₂ /TB)	36.2	67.9	2.0	15.8	18.7	14.6

Ponderazione Rete Certiblok

% della Rete Certiblok			0.21%	0.208%	0.582%	100%
------------------------	--	--	-------	--------	--------	------

Fattori Specifici Cliente

TB di dati (TB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Anni di Conservazione (Anni)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Replicazione per Durabilità (dati espansi/dati sorgente)	3.0	4.0	2.7	2.7	2.7	2.7
Fattore Multi Regione (# di regioni)	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Totale a Piena Capacità (kg CO ₂)	326	679	15	121	144	112

Risparmio di carbonio

Risparmio di Carbonio da Certiblok Std vs. Alternativa (kg CO ₂)	311	664				
Risparmio di Carbonio da Certiblok Blended vs. Alternativa (kg CO ₂)	214	567				
Risparmio di Carbonio da Certiblok Std vs. Alternativa (%)	95.3%	97.7%				
Risparmio di Carbonio da Certiblok Blended vs. Alternativa (%)	65.6%	83.5%				

* Certiblok Standard: drive già forniti e alimentati
 * Certiblok Reused: Vecchi drive rimessi online

Figura 7: Framework per la quantificazione dell'output di carbonio dello storage dati

¹⁹ Le stime sull'utilizzo dei data center e dello storage variano ampiamente. Alcune fonti includono: [C&C Technology Group](#), [Natural Resources Defense Council \(NRDC\)](#) e [IBM](#). Per mantenere i nostri calcoli conservativi, abbiamo utilizzato il range più alto delle stime per l'utilizzo, il che rende i risultati comparativi per Certiblok meno favorevoli di quanto potrebbero essere altrimenti.

Risultati

Modello di Stima dei Risparmi di Carbonio

Utilizzando le ipotesi indicate nell'Appendice A, il modello suggerisce che l'utilizzo di Certiblok nella sua forma pura per memorizzare un TB di storage per 3 anni genera 15 kg di CO₂. Memorizzare questi dati con un hyperscaler genera 326 kg di CO₂. Utilizzare un data center aziendale genera 679 kg di CO₂.

Ciò significa che utilizzare Certiblok per l'archiviazione dei dati comporta una riduzione di 311 kg di CO₂ per TB rispetto allo storage hyperscaler e una riduzione di 664 kg di CO₂ rispetto a un data center aziendale. Questo rappresenta una riduzione rispettivamente del 95% e del 98%.

Per mettere tutto in prospettiva, un'auto produce circa 0,24 kg/km di percorrenza²⁰. Quindi, per un singolo TB di storage effettivo, si possono eliminare emissioni equivalenti a quelle prodotte da 1300-2800 km di viaggio in auto.

Naturalmente, queste sono solo stime in buona fede, ma suggeriscono il potenziale di questo modello. Se anche solo una frazione degli ZB di dati che si prevede verrà prodotta nel prossimo futuro e degli ZB di capacità nei drive già implementati e alimentati in tutto il mondo potesse essere trasferita su Certiblok, l'impatto sull'ambiente sarà significativo.

TABELLA DI RIEPILOGO				
Impatto di Carbonio delle varie modalità di storage				
	Modalità Tradizionali		Modalità Certiblok	
	Hyperscaler	Corporate DC	Certiblok Standard*	Certiblok Blended
Totale a Piena Capacità (kg CO ₂)	326	679	15	112
Risparmio di Carbonio da Certiblok Std vs. Alternativa (kg CO ₂)	311	664	-	-
Risparmio di Carbonio da Certiblok Blended vs. Alternativa (kg CO ₂)	214	567	-	-
Risparmio di Carbonio da Certiblok Std vs. Alternativa (%)	95%	98%	-	-
Risparmio di Carbonio da Certiblok Blended vs. Alternativa (%)	66%	83%	-	-

Figura 8: Riepilogo dei risultati del modello dell'impatto di emissioni di carbonio nel data storage

²⁰ [Carbon Dioxide, Part 2: Walk, Drive a Car, or Ride a Bike? | GLOBE Scientists' Blog.](#)

Appendice A: Parametri e Assunzioni

Impatto Carbonio Operativo

Le stime si basano su:

- 20 kg CO₂/TB per la produzione (analisi LCA su 24 HDD)
- 36,8 kWh/anno/TB per il consumo energetico
- Fattore di conversione 0,7 kg CO₂/kWh
- Impatto annuale operativo 15,9 kg CO₂

L'impatto marginale della scrittura:

Energia scrittura: 0,005 wattora/GB

Conversione CO₂: 0,7 kg/kWh

Impatto per TB: 3,5 kg CO₂

Overhead Infrastrutturale

Calcolo dell'impatto dei servizi di coordinamento:

Impronta CO₂ mensile: 3600 kg

Annualizzata: 43200 kg

Storage rete attuale: 18933 TB

Overhead per TB/anno: 0,19 kg CO₂

Vita Utile dei Dispositivi

- Provider cloud: 4 anni
- Data center aziendali: 4 anni
- Rete decentralizzata: 6 anni

Fattori di Utilizzo

- Data center aziendali: 40%
- Provider cloud: 75%
- Rete decentralizzata: 85%

Appendice B: Considerazioni per il Raffinamento del Modello

1. Impatto delle Letture

Il modello attuale non include:

- Carbonio generato dalle operazioni di lettura
- Impatto della trasmissione dati
- Variazioni per diversi pattern di accesso
- Differenze tra piattaforme di storage

2. Ottimizzazione SSD

Considerazioni chiave:

- Gli SSD richiedono 4x più carbonio nella produzione
- Costi operativi inferiori rispetto agli HDD
- Potenziale riduzione della cache attraverso l'architettura distribuita
- Bilanciamento performance-sostenibilità

3. Mix Energetico

Fattori variabili:

- Diverse fonti energetiche per regione
- Impatto relativo maggiore della produzione in aree con energia pulita
- Variazioni stagionali nell'impronta di carbonio
- Ottimizzazione geografica possibile

4. Tipologie di Drive

Differenze significative tra:

- Drive enterprise vs consumer
- Capacità e cicli di vita
- Modalità operative
- Efficienza energetica

5. Considerazioni sul Raffreddamento

Aspetti critici:

- Maggior consumo energetico nei data center
- Correlazione con l'utilizzo dei drive
- Impatto amplificato sui risparmi di carbonio
- Efficienza dei sistemi di raffreddamento

6. Configurazioni Alternative

Potenziati ottimizzazioni:

- Reti private o limitate
- Rapporti di codifica migliorati
- Riduzione del fattore di espansione
- Performance ottimizzate

Appendice C: Bibliografia

1. Worldwide IDC Global DataSphere Forecast 2022-2026
2. http://www.suaybarslan.com.tr/Reliability_Systems_14.pdf
3. US Chamber 3-2-1 Backup Rule
[C&C Tech Group - Understanding Data Center Energy Consumption](#)
4. IEA Data Centers and Data Transmission Networks Report
5. Shehabi et. al. (2016). United States Data Center Energy Usage Report
6. [Seagate life cycle analysis of the Momentum drive and impact on climate change](#)
7. Hongyue Jin, et al, Life cycle assessment of emerging technologies on value recovery from hard disk drives
8. Mostafa Sabbaghi, et al, The Global Flow of Hard Disk Drives: Quantifying the Concept of Value
9. Leakage in E-waste Recovery Systems. Mostafa Sabbaghi, et al, The Global Flow of Hard Disk Drives: Quantifying the Concept of Value
10. Leakage in E-waste Recovery Systems.
11. Hongyue Jin, et al, Life cycle assessment of emerging technologies on value recovery from hard disk drives
12. Hongyue Jin, et al, Life cycle assessment of emerging technologies on value recovery from hard disk drives
13. The Dirty Secret of SSDs: Embodied Carbon, Swamit Tannu University of Wisconsin-Madison and Prashant J Nair University of British Columbia.
14. Hongyue Jin, et al, Life cycle assessment of emerging technologies on value recovery from hard disk drives
15. [Are Your Data Centers Keeping You From Sustainability?, IBM](#)
16. Stanford Business: Vinod Khosla - Green Tech Must Make Economic Sense
17. La "Durabilità 11 9's" (o "eleven nines durability") si riferisce a una probabilità di conservazione dei dati del 99,999999999%. In termini pratici, questo significa che c'è solo una possibilità su 100 miliardi che un oggetto dati venga perso. Questo livello di durabilità è spesso pubblicizzato da servizi di storage cloud come Amazon S3 per indicare l'affidabilità estrema del loro sistema di archiviazione dati. Per contestualizzare: questa probabilità è così alta che è più probabile vincere la lotteria diverse volte di seguito che perdere un oggetto dati in un sistema con questa durabilità
18. Reed-Solomon erasure coding definition
19. The Dirty Secret of SSDs: Embodied Carbon, Swamit Tannu University of Wisconsin-Madison and Prashant J Nair University of British Columbia.
20. Le stime sull'utilizzo dei data center e dello storage variano ampiamente. Alcune fonti includono: C&C Technology Group, Natural Resources Defense Council (NRDC) e IBM. Per mantenere i nostri calcoli conservativi, abbiamo utilizzato il range più alto delle stime per l'utilizzo, il che rende i risultati comparativi per Certiblok meno favorevoli di quanto potrebbero essere altrimenti.
21. [Carbon Dioxide, Part 2: Walk, Drive a Car, or Ride a Bike? | GLOBE Scientists' Blog.](#)

Formula di Calcolo del Risparmio di CO₂

Per 1 TB di dati su periodo triennale:

$$\text{Risparmio CO}_2 = (\text{EMC} - \text{EMD}) * C * T$$

Dove:

EMC = Emissioni Cloud Centralizzato

326 kg CO₂/TB (provider cloud)

679 kg CO₂/TB (data center aziendali)

EMD = Emissioni Cloud Decentralizzato

112 kg CO₂/TB

C = Capacità in TB

T = Tempo in anni / 3

Conversione per MB:

$$\text{Risparmio CO}_2 \text{ per MB} = (\text{EMC} - \text{EMD}) * (1/1048576) * T$$

Esempio pratico per 1 MB annuale:

$$\text{Risparmio} = (326 - 112) * (1/1048576) * (1/3)$$

$$= 0.000068 \text{ kg CO}_2 \text{ per MB}$$

$$\approx 0.068 \text{ grammi CO}_2 \text{ risparmiati per MB}$$

Variabili che influenzano i risultati:

1. Composizione energetica regionale
2. Efficienza delle infrastrutture
3. Tecnologie di storage utilizzate
4. Pattern di utilizzo
5. Durata dell'archiviazione

Copyright © 2024 Certiblok Srl | Tutti i diritti riservati

Certiblok

Piazza della Libertà, 14

38121 Trento (TN) - ITALIA

www.certiblok.com