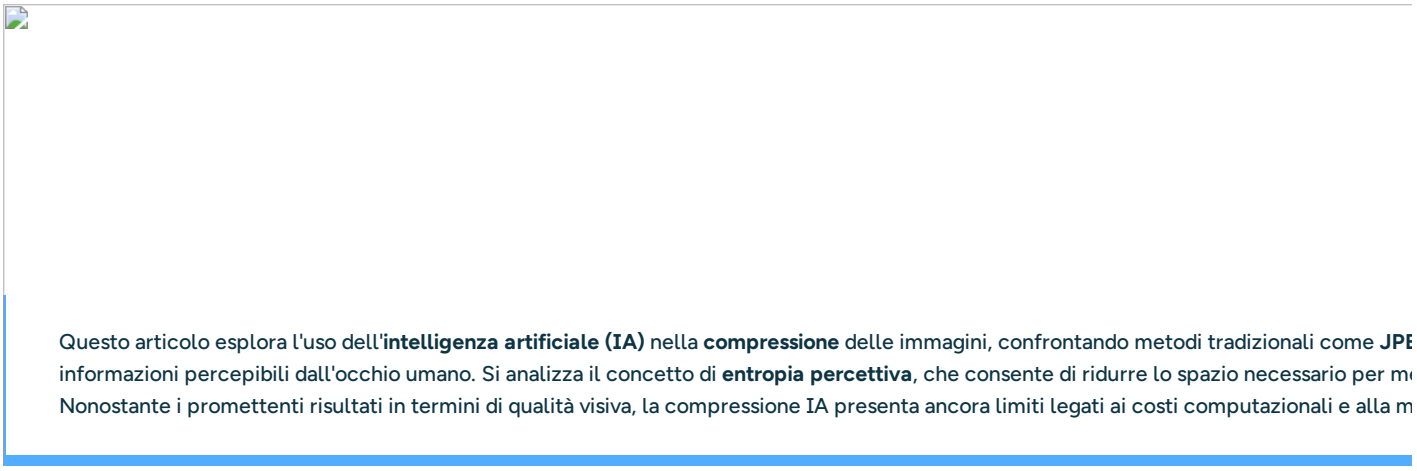
Compressione delle immagini con l'IA

DI MASSIMO VAILATI

24/12/2025

INTELLIGENZA ARTIFICIALE RETI NEURALI COMPRESSIONE IMMAGINI ENTROPIA METRICHE DI VALUTAZIONE AUTOENCODER AI COMPRESSIO

SCIENTIFICO S.A. , TT INFORMATICA



Questo articolo esplora l'uso dell'**intelligenza artificiale (IA)** nella **compressione** delle immagini, confrontando metodi tradizionali come **JPE**
informazioni percepibili dall'occhio umano. Si analizza il concetto di **entropia percettiva**, che consente di ridurre lo spazio necessario per m
Nonostante i promettenti risultati in termini di qualità visiva, la compressione IA presenta ancora limiti legati ai costi computazionali e alla m

Hai mai pensato a quante immagini vedi ogni giorno? Milioni. Eppure il nostro cervello sembra avere una capacità quasi infinita di ricordarle. Co

1. **Alta capacità di memorizzazione**: il cervello può immagazzinare enormi quantità di informazioni.
2. **Algoritmo di compressione intelligente**: a differenza dei metodi tradizionali come JPEG, il cervello non memorizza ogni dettaglio pixel per p

Questa osservazione apre una domanda affascinante: possiamo creare algoritmi simili con le reti neurali artificiali per comprimere immagini, pe

Compressione Tradizionale vs Compressione Intelligente

Il formato JPEG, ad esempio, è onnipresente sul web. Funziona riducendo informazioni come i dettagli ad alta frequenza e modificando la risolu



Il cervello, invece, ricorda concetti e relazioni tra gli oggetti. Se ti viene chiesto di ricordare un'immagine, probabilmente ricorderai un albero e



Il Ruolo dell'Entropia nella Compressione dei Dati

Per capire meglio come comprimere i dati, entra in gioco il concetto di **entropia**. In fisica, l'entropia misura il disordine; nella teoria dell'informa

- Un'immagine semplice ha **bassa entropia**: basta descrivere poche informazioni per ricostruirla.
- Un'immagine più complessa ha **alta entropia**: serve più informazione per descrivere ogni dettaglio.

Il compito della compressione è rappresentare i dati in una dimensione vicina alla loro entropia, ovvero ridurre lo spazio occupato senza perde

Entropia Percettiva e Compressione IA

Esiste un concetto ancora più potente: l'**entropia percettiva**. Due immagini possono differire pixel per pixel, ma essere visivamente identiche p

Le **reti neurali e la compressione IA** funzionano proprio così. Studiano come il cervello codifica le informazioni visive e cercano di emularlo, pe

In questo articolo esploreremo il funzionamento degli **autoencoder** e della **quantizzazione vettoriale**, due concetti chiave per la compressione

Cos'é un Autoencoder

Un **autoencoder** è una rete neurale progettata per ricreare i dati che riceve in input. Per esempio, se l'input è un'immagine, l'autoencoder cerca
La caratteristica principale è che al centro della rete si trova uno **strato intermedio molto più piccolo dei dati originali**, chiamato **spazio latent**



Perché un autoencoder da solo non basta
Anche se lo spazio latente ha meno numeri rispetto ai pixel originali, i valori che contiene sono numeri decimali ad alta precisione. Ogni numer
Per ridurre lo spazio necessario a memorizzare questi numeri serve un processo chiamato **quantizzazione**, che consiste nel limitare i valori a nu

Quantizzazione e Percezione Umana

La quantizzazione semplice, come tagliare le cifre decimali, riduce le dimensioni del file ma può degradare la qualità dell'immagine. L'idea alla

Vector Quantized Autoencoder (VQ-AE)

Per ottenere una compressione efficiente, gli autoencoder possono essere trasformati in **autoencoder a quantizzazione vettoriale (Vector Qua**

Come funziona

1. Lo spazio latente viene suddiviso in una griglia, ad esempio **32x32**, dove ogni casella contiene un vettore di dimensione ridotta (es. 6 numeri).
2. Invece di memorizzare questi numeri decimali, ogni vettore viene associato a un **simbolo** preso da una **palette di simboli**, simile a una tavoloz
3. Ogni simbolo rappresenta concetti appresi dal modello (per esempio cielo, alberi o montagne) e può essere memorizzato come un piccolo n
4. Durante l'addestramento, il modello confronta ogni vettore con i simboli nella palette e sostituisce il vettore con l'indice del simbolo più vici



Il risultato è uno **spazio latente simbolico**, molto più piccolo dell'immagine originale, ma capace di ricostruirla quasi perfettamente. Lo spazio l

L'ultimo passo consiste nell'**ottimizzare ulteriormente lo spazio necessario** usando algoritmi di compressione classici. Questi algoritmi cercano

- **Codifica Huffman**
- **Codifica aritmetica**

Combinando la quantizzazione appresa con la codifica dell'entropia, la compressione IA raggiunge livelli molto superiori rispetto ai metodi trad

Esempi Pratici

Alcuni modelli di compressione di immagini con l'IA già esistenti dimostrano chiaramente quanto questa tecnologia possa essere potenti:

- Con lo stesso livello di compressione di JPEG, l'immagine ricostruita dall'IA può apparire quasi perfetta.
- A volte sembra persino "troppo perfetta", perché l'IA può ricostruire dettagli plausibili che non erano presenti nell'immagine originale.

Questo dimostra che la compressione IA non solo riduce lo spazio dei file, ma preserva anche la qualità percepita dall'occhio umano.

Limiti attuali

Nonostante i risultati impressionanti, la compressione IA non è ancora uno standard universale per due motivi principali:

1. **Costo computazionale elevato**: richiede più tempo e risorse rispetto a JPEG o PNG.
2. **Mancanza di standardizzazione**: non esistono protocolli unificati per far sì che computer diversi usino lo stesso algoritmo.

Tuttavia, con il continuo aumento della potenza dei computer e lo sviluppo di standard, è probabile che la compressione IA diventerà lo standa

Attività pratica n.1

Provare un algoritmo di compressione IA

Viene fornito il programma *aicompression.py* scritto in Python. Il codice proposto permette di caricare un'immagine, comprimerla:

- con il metodo **JPEG**,
- con un modello **IA (CompressAI)**,

per poi confrontare i risultati.

Passaggi principali

1. Carica l'immagine originale e calcola la dimensione non compressa (in KB).
2. Applica la compressione JPEG, salvando un file .jpg leggibile e misurando la dimensione reale del file.
3. Applica la compressione IA: il modello neurale codifica l'immagine in un insieme di bitstream (stringhe di byte).

- La **dimensione compressa** viene **stimata** sommando la lunghezza dei bitstream.
- Non si ottiene un file "leggibile" sul computer, perché il contenuto è una rappresentazione interna del modello.
- Per la **visualizzazione**, il programma decodifica lo stream e salva l'immagine ricostruita in formato .png, così da poter confrontare i risultati v

4. Calcola le metriche PSNR e **SSIM**, confrontando l'immagine originale con le versioni ricostruite (JPEG e IA).
5. Mostra le tre immagini (originale, JPEG e IA) con le relative dimensioni e metriche.





PSNR JPEG: 29.911703626867222
PSNR IA: 16.6049522681423

SSIM JPEG: 0.8437300118302709
SSIM IA: 0.5212589855944176

Dimensione stimata immagine non compressa: 7810.5 KB
Dimensione file JPEG: 311.9 KB
Dimensione stream AI: 177.3 KB (stimati dai bitstream CompressAI)

Comprendere le misure di qualità

PSNR – *Peak Signal-to-Noise Ratio*

Misura quanto i pixel dell'immagine compressa differiscono da quelli originali.
Valori più alti indicano un'immagine più fedele (meno rumore).
Tuttavia, il PSNR **non riflette la qualità percepita**, ma solo l'errore numerico.

SSIM – *Structural SIMilarity*
Tiene conto di luminosità, contrasto e struttura locale.
È una misura più "intelligente" del PSNR, ma comunque legata alle somiglianze *pixel per pixel*.
Anche qui, un valore vicino a 1 indica alta somiglianza.

Interpretazione dei risultati

Durante l'esperimento si noterà che:

- L'immagine **JPEG** ottiene spesso **PSNR e SSIM più alti**.
- L'immagine **IA**, invece, **appare più naturale e dettagliata**, pur avendo valori numerici inferiori.

Questo accade perché le metriche tradizionali valutano **differenze aritmetiche** tra i pixel, mentre la rete neurale può **ricostruire dettagli più re**
In altre parole, l'AI produce immagini **percettivamente migliori**, anche se **numericamente più "diverse"**.

Attività pratica n.2

Spunti di discussione o esercizi

1. Variare i parametri di **qualità** per JPEG (`jpeg_quality`) e IA (`quality`) e osservare come cambiano le dimensioni e la qualità.
2. Provare immagini diverse (ritratti, paesaggi, texture) e confrontare i risultati.
3. Riflettere: quale compressione "preferisce" l'occhio umano e quale "preferiscono" le metriche?
4. Discutere perché nel futuro potrebbero servire **nuove metriche percettive**, più coerenti con la qualità visiva umana.