**Capitolo: Reti Neurali Artificiali**

**1. Definizione Generale delle Reti Neurali**

Le **reti neurali artificiali** (ANN, Artificial Neural Networks) sono modelli computazionali ispirati alla struttura e al funzionamento del cervello umano. Sono composte da unità semplici, chiamate **neuroni** o **nodi**, organizzati in strati, che collaborano per risolvere problemi complessi di apprendimento.

**Caratteristiche principali:**

1. **Struttura a strati:** Composta da uno strato di input, uno o più strati nascosti (hidden layers) e uno strato di output.
2. **Connessioni pesate:** Ogni connessione tra neuroni è associata a un peso che determina l'importanza del segnale.
3. **Funzione di attivazione:** Applicata alla somma ponderata degli input per introdurre non linearità e permettere di apprendere relazioni complesse.
4. **Apprendimento:** Si basa su algoritmi che regolano i pesi delle connessioni per minimizzare l'errore.

**2. Reti Neurali Feedforward**

Le **reti neurali feedforward** rappresentano la forma più semplice di reti neurali artificiali.

**2.1 Struttura:**

1. **Flusso unidirezionale:** I dati si muovono in una sola direzione, dai nodi di input ai nodi di output, senza cicli o loop.
2. **Strati principali:**
   * **Input layer:** Riceve i dati grezzi e li distribuisce agli strati successivi.
   * **Hidden layers:** Esegue calcoli complessi per estrarre caratteristiche dai dati.
   * **Output layer:** Restituisce il risultato finale (es. classificazione, valore numerico).

**2.2 Funzionamento:**

* Ogni nodo calcola la somma pesata dei suoi input: z = (w1 \* x1) + (w2 \* x2) + ... + (wn \* xn) + b  
  Dove:
  + w1, w2, ..., wn sono i pesi associati agli input x1, x2, ..., xn.
  + b è il bias.
  + z è la somma ponderata degli input.
* Successivamente, applica una funzione di attivazione f(z) per ottenere l'output del nodo: a = f(z)

**2.3 Funzioni di Attivazione:**

* **Sigmoid:**  
  f(z) = 1 / (1 + e^(-z))
* **ReLU (Rectified Linear Unit):**  
  f(z) = max(0, z)
* **Tanh:**  
  f(z) = (e^z - e^(-z)) / (e^z + e^(-z))

**3. Backpropagation**

La **backpropagation** (retropropagazione dell'errore) è un algoritmo fondamentale per l'addestramento delle reti neurali.

**3.1 Obiettivo:**

Minimizzare la funzione di costo, che misura l'errore tra l'output predetto dalla rete (y\_pred) e l'output reale (y):  
C = (1/n) \* Σ (y - y\_pred)^2

**3.2 Fasi dell'algoritmo:**

1. **Forward pass:** Calcolo dell'output della rete per un dato input.
2. **Calcolo dell'errore:** Determinazione dell'errore dell'output rispetto al valore atteso.
3. **Backward pass:** Propagazione dell'errore attraverso i livelli della rete per aggiornare i pesi.
   * **Calcolo del gradiente:** Utilizzo della derivata parziale della funzione di costo rispetto ai pesi.
   * **Regola di aggiornamento dei pesi:**  
     Nuovo peso = Peso precedente - (learning rate \* gradiente)

**3.3 Vantaggi:**

* Permette di addestrare reti profonde (deep learning).
* Si adatta a una vasta gamma di applicazioni (classificazione, regressione, riconoscimento immagini).

**4. Modularizzazione**

La **modularizzazione** nelle reti neurali consiste nel suddividere una rete complessa in componenti più semplici, ciascuna specializzata in un sotto-compito.

**4.1 Obiettivo:**

* Migliorare la comprensibilità, la scalabilità e il riutilizzo dei moduli.

**4.2 Esempi di modularizzazione:**

1. **Blocchi neurali:**  
   Creazione di sottoreti (moduli) dedicate a estrarre caratteristiche specifiche.  
   Esempio: In una rete di visione artificiale, un modulo può essere dedicato al riconoscimento dei bordi.
2. **Architetture modulari:**  
   Reti come **ResNet** (Reti Residuali) utilizzano moduli di blocchi residuali per migliorare la propagazione del gradiente.

**4.3 Vantaggi:**

* **Riutilizzabilità:** I moduli possono essere integrati in altre reti.
* **Manutenibilità:** Modifiche locali ai moduli non influenzano l'intera rete.
* **Specializzazione:** Ogni modulo può essere ottimizzato per uno specifico sotto-compito.

**5. Applicazioni delle Reti Neurali**

Le reti neurali sono utilizzate in una vasta gamma di settori, tra cui:

1. **Visione artificiale:** Riconoscimento facciale, diagnostica medica.
2. **Elaborazione del linguaggio naturale:** Traduzione automatica, chatbot.
3. **Riconoscimento vocale:** Assistenti vocali come Siri e Alexa.
4. **Finanza:** Previsioni di mercato, rilevamento di frodi.
5. **Autonomous Driving:** Identificazione degli ostacoli, tracciamento delle corsie.

**6. Considerazioni Finali**

Le reti neurali rappresentano uno degli strumenti più potenti nell'ambito dell'intelligenza artificiale, grazie alla loro capacità di modellare relazioni complesse e apprendere dai dati. La comprensione della loro struttura, dei meccanismi di apprendimento (come la backpropagation) e delle strategie di modularizzazione è fondamentale per progettare modelli robusti e scalabili, in grado di affrontare problemi reali.