

# Identificazione e disambiguazione della costruzione NPN con BERT

Caso studio di Scivetti e Schneider sulla costruzione inglese

---

Corso di Semantica a.a. 2025/2026

18 Novembre 2025

Università di Bologna

La costruzione NPN

Accedere alla conoscenza di un LLM

Probing

Il Dataset

Training e Test set

Task 1: Identificazione

Task 2: Identificazione (perturbando l'ordine delle parole)

Task 3: Disambiguazione semantica

## La costruzione NPN

---

# Cos'è la costruzione NPN

La costruzione NPN è stata ampiamente studiata in inglese da una prospettiva costruzionista, in particolare da Jackendoff (2008) e Sommerer & Baumann (2021).

## Construction Schema

*Noun*<sub>1</sub> Preposition *Noun*<sub>2</sub>

I due nomi nella costruzione devono avere forma identica, anche per la declinazione del numero. La costruzione non ammette nomi accompagnati da determinati.

# Cos'è la costruzione NPN

La costruzione può comparire in diverse posizioni sintattiche, ad esempio come modificatore avverbiale o come modificatore nominale.

## Esempi

- *I need you to get this **word for word**.*  
(modificatore avverbiale)
- *There is a rebellious quality to your **day to day** responses which have not gone unnoticed.*  
(modificatore nominale)

Significati delle costruzioni NPN istanziate da *to*

## **SUCCESSION**

Indica una **successione o iterazione**, spesso temporali o spaziali.

## **JUXTAPOSITION**

Indica una **giustapposizione o confronto**, spesso persone o oggetti.

L'obiettivo dello studio è valutare se i Large Language Models, come BERT, siano in grado di rappresentare, almeno in parte, l'unità fondamentale della **Construction Grammar**: la **costruzione**.

In particolare, il case study si concentra sulla costruzione inglese **NPN** istanziata da *to*, scelta per la sua **polisemia** e i molteplici significati contestuali.

# Accedere alla conoscenza di un LLM

---

# LLMs come Black Box

I Large Language Models ricevono input e producono output, ma il loro funzionamento interno rimane in gran parte opaco.

- **Non osservabile:** non possiamo seguire direttamente come le reti trasformano l'informazione.
- **Non interpretabile:** le rappresentazioni interne sono vettori numerici di grandi dimensioni.

## Non conosciamo

- Quali **rappresentazioni interne** costruiscono?
- Quali **pattern linguistici** apprendono?
- In che modo **utilizzano** queste conoscenze nei task?

# Struttura del Transformer

## Self-Attention

Consente al modello di pesare dinamicamente tutte le parti dell'input.



### Encoder

- Converte il testo di input in **rappresentazioni vettoriali contestuali**.

### Decoder

- Genera testo **un token alla volta**.

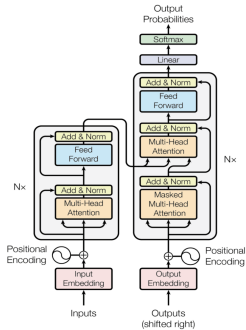
### Tipologie di modelli Transformer

**Encoder-only:** BERT, RoBERTa **Decoder-only:** GPT, LLaMA

**Encoder-decoder:** T5, BART

# Tipologie di modelli Transformer

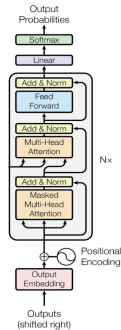
## Transformer



**Encoder**

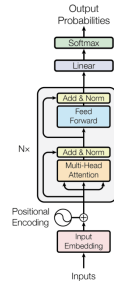
**Decoder**

## GPT\*



**Decoder-only**

## BERT\*



**Encoder-only**

Modelli Encoder/Decoder

## BERT e la costruzione NPN

Il case study del paper indaga la conoscenza che BERT possiede della costruzione **NPN** (Noun–Prep–Noun).

## Obiettivi di pre-training

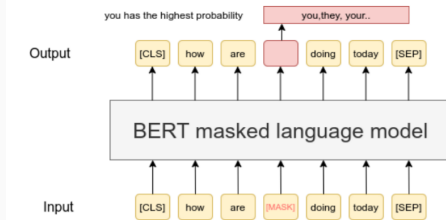
BERT viene addestrato su due task fondamentali:

- **Masked Language Modeling (MLM)**: si maschera un token e il modello deve **ricostruirlo a partire dal contesto**.
- **Next Sentence Prediction (NSP)**: il modello deve **capire se due frasi sono consecutive** nel testo originale.

# Punto chiave: rappresentazioni profonde

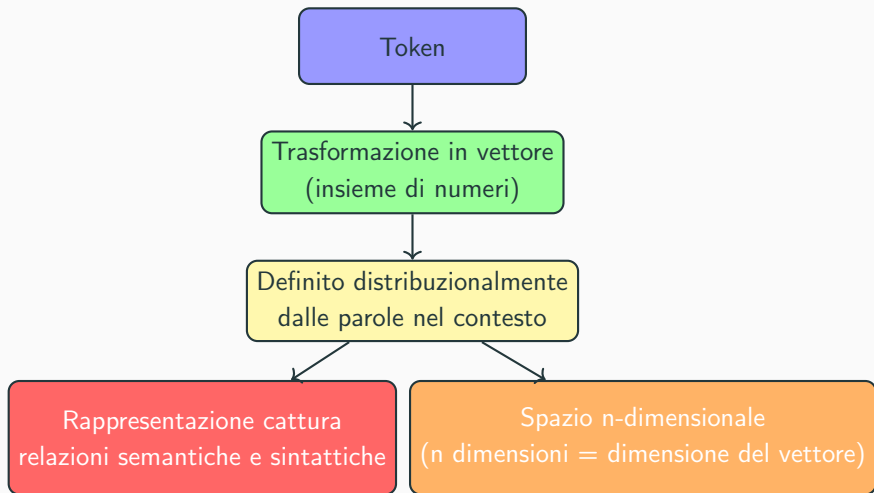
## Punto chiave

Lo scopo non è risolvere i task in sé, ma **insegnare al modello a costruire rappresentazioni linguistiche profonde**, cioè **vettori contestuali** ricchi di informazione sintattica e semantica.

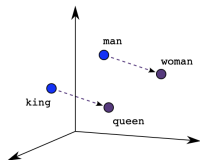


Masked language modeling

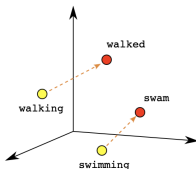
# Che cos'è un vettore?



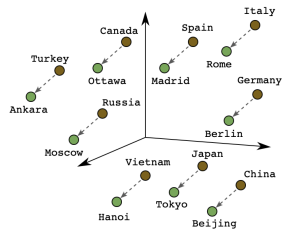
# Rappresentazione vettoriale



Male-Female



Verb Tense



Country-Capital

Embedding statici

# Rappresentazione vettoriale in BERT

Fasi principali:

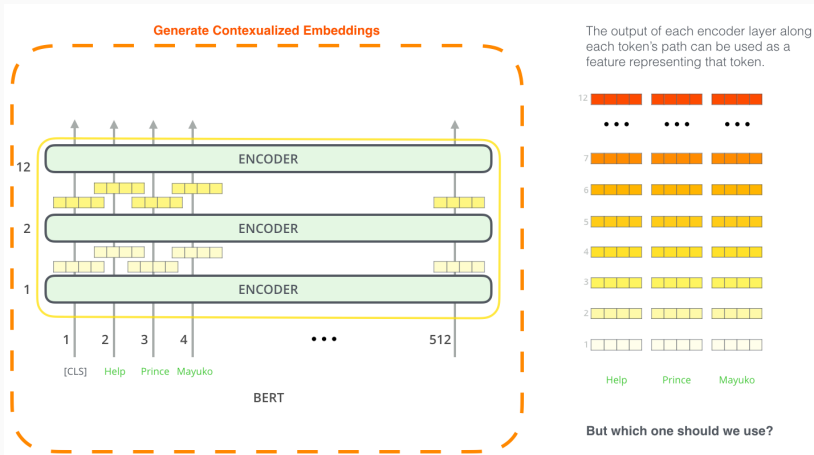
1. **Tokenizzazione:** ogni token viene convertito in un vettore iniziale.
2. **Previsione [MASK]:** cattura informazione linguistica contestuale, propagata attraverso i layer.

Layer dopo layer, il vettore acquisisce informazioni sempre più accurate.

3. **Aggiornamento pesi:** predizione su [MASK]  
Confronto con token corretto (LOSS)  
Aggiustamento dei parametri (BACKPROPAGATION).

Vettori numerici (768d) risultanti dall'addestramento di BERT

# Rappresentazione vettoriale in BERT



Embedding contestuali

La risoluzione del task **Masked Language Modeling (MLM)** disegna lo **spazio vettoriale**.

- **Rappresentazione contestuale:** ogni token ha un vettore diverso a seconda della frase in cui compare.
- **Contesto bidirezionale:** il modello vede tutti i token della frase e aggiorna gli embedding a ogni layer.

# Probing

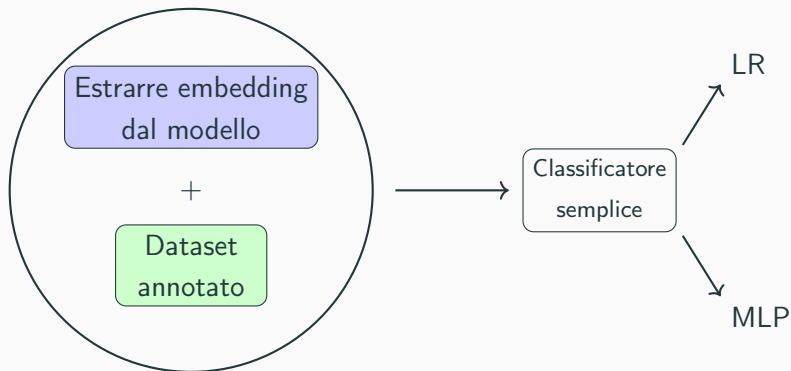
---

# Probing: accesso alle informazioni linguistiche

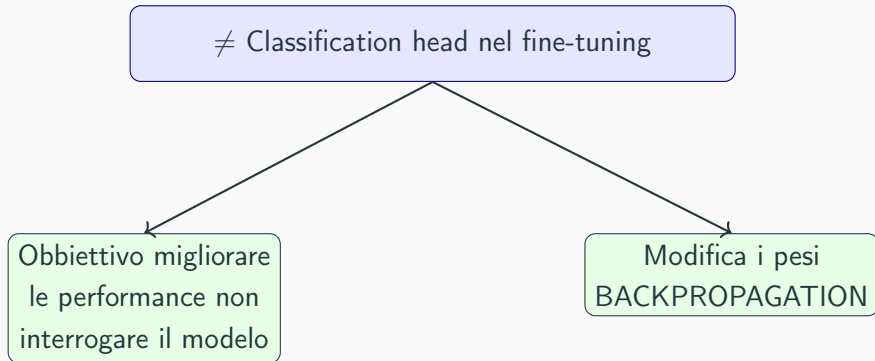
Vettori numerici complessi  $\rightarrow$  non interpretabili

## Probing

Interrogare i **vettori** per verificare se contengono determinate conoscenze linguistiche



## Differenze rispetto al fine-tuning



# Interpretare le performance del classificatore

Per concludere che le buone performance del classificatore riflettono realmente l'informazione linguistica contenuta nei vettori, è necessario:

- Analizzare le performance degli **embedding per tutti i layer** del modello. → Ci attendiamo incremento e differenza.
- Stabilire una **baseline significativa** per confronto.
- Confrontare i risultati con un **control classifier**.

## II Dataset

---

- estrazione da COCA
- Eliminazione dei casi PNPN
- Identificazione dei distrattori
- Annotazione per tutte le istanze delle etichette semantiche

## Doppia annotazione

- Annotato **25%** del dataset
- Accordo grezzo: **84%**
- Cohen's kappa: **0.754** (accordo forte)

## Dimensioni del dataset

- **6599** istanze totali (N-to-N)
- **1885** istanze con doppia annotazione

## Training e Test set

---

# Near Minimal Pairs e Distrattori

## NtoN distractors

Oltre alle reali istanze della costruzione NtoN, il corpus contiene anche pattern superficiali **Noun + to + Noun** che non sono costruzioni NtoN. Derivano da contesti sintattici diversi (es. verbi che reggono un oggetto e una PP con *to*): *stick plastic to plastic*, *time to time travel*, ecc.

Questi casi non esprimono il significato della costruzione ma forniscono utili **esempi negativi** per testare se il modello.

## Near minimal pairs

Poiché condividono la stessa forma superficiale dei veri NtoN, questi distrattori costituiscono **near minimal pairs**: frasi grammaticali, naturali, quasi identiche in superficie, ma con **struttura e significato diversi**.

## Dataset

Nel case study **456** near minimal pairs come distrattori dal corpus.

# Split training test set

## **Evitare overfitting**

Max 20 occorrenze per lemma per evitare overfitting e ridurre la sproporzione tra lemmi altamente frequenti e lemmi rari.

## **Controllo della generalizzazione**

Generazione split casuali di train/test basati sul lemma del nome presente nella costruzione NtoN, in modo che nessun lemma compaia sia nel training set sia nel test set.

## **Bilanciamento training**

Poiché il numero di distrattori è significativamente inferiore rispetto alle istanze della costruzione, per bilanciare le categorie nel training set è stato utilizzato l'80% dei distrattori, abbinato allo stesso numero di costruzioni. Il test set è quindi composto dal restante 20% dei distrattori, insieme a tutte le costruzioni eccedenti quelle usate per il training.

## Task 1: Identificazione

---

# Task 1: Identificazione

## **Definizione del task**

Distinguere le istanze autentiche della costruzione NtoN dagli esempi autentici del corrispondente pattern distrattore.

## **Control classifier**

Le etichette vengono randomizzate e assegnate in modo deterministico al word type.

Le performance dovrebbero attestarsi near chance.

## **Non-contextual baseline (GloVe)**

Valuta la performance basata solo su informazioni lessicali, senza contesto.

Dovrebbero attndersi, in virtù dei campi semnatici ricorrenti nella costruzione NtoN come espressioni temporali e parti del corpo, performance non trascurabili.

# A cosa serve la baseline?

## **Control classifier**

Informa sulla bontà del classificatore

## **Non-contextual baseline (GloVe)**

Tutto ciò che supera questa performance potrebbe essere attribuito alle informazioni aggiuntive catturate da BERT attraverso il significato contestuale.

## Task 2: Identificazione (perturbando l'ordine delle parole)

---

## Task 2: Perturbing Word Order

### Obiettivo

- Testare la **robustezza** del classificatore BERT-based.
- Verificare se distingue la **vera costruzione NtoN** da frasi con ordine delle parole **alterato artificialmente**.

### Idea di base

- Se il modello si basa troppo su **indizi lessicali**, classificherà come positive anche frasi non-NtoN con gli stessi nomi.
- Se è sensibile al **pattern N + to + N**, occorrenze perturbate da reali istanze della costruzione.

## Task 2: Perturbing Word Order

### Metodo

- Non viene riaddestrato il probe: vede solo  $N + to + N$  corretti.
- Viene manipolato il test set creando 4 ordini delle parole perturbati.

### Tipi di perturbazioni

- **PNN**:  $to + N + N$
- **PN**:  $to + N$
- **NP**:  $N + to$
- **NNP**:  $N + N + to$

### Scopo finale

- Valutare se il classificatore è sensibile alla **forma** della costruzione.

## Task 3: Disambiguazione semantica

---

## Task 3: Disambiguazione semantica

**Obiettivo:** Analizzare i sottotipi semantici della costruzione NtoN.

- La performance del classificatore è alta nel distinguere NtoN da pattern simili.
- La costruzione NtoN è **ambigua** e può avere significati diversi a seconda del contesto.
- Due significati principali:
  - **SUCCESSIONE**
  - **GIUSTAPPOSIZIONE**

## Task 3: Disambiguazione semantica

### Caratteristiche dei sottotipi:

- **SUCCESSIONE**: frequente con nomi spaziotemporali (es. giorno per giorno, costa a costa)
- **GIUSTAPPOSIZIONE**: frequente con parti del corpo o esseri umani (es. faccia a faccia, amico ad amico)
- Il significato del sostantivo non è determinante: alcune occorrenze assumono il significato meno comune a seconda del contesto.
- Esistono sostantivi rari per cui non è chiaro quale sottotipo sia più comune.

## Task 3: Disambiguazione semantica

### Metodologia:

- Classificatore per distinguere i sottotipi semantici:
  - SUCCESSIONE
  - GIUSTAPPOSIZIONE
  - Non-esempi (pattern distrattori)
- Classificazione a 3 classi.
- Classificatori di controllo: etichette casuali assegnate a ciascun lemma (Hewitt & Liang, 2019)
- Se le probe sono selettive, i classificatori di controllo dovrebbero ottenere 33% di accuratezza.