



GIANFRANCO BASTI

**LOGICA II:
LOGICHE MODALI
E INTENSIONALI**

**Parte II:
Cenni di Logica delle Proposizioni e dei Predicati**

**Schemi ad Uso degli Studenti
Roma 2008**

8. Dalla logica formale all'ontologia formale

8.1. Nascita del metodo ipotetico-deduttivo (*FNS* capp. 3-4)

- Scoperta delle **geometrie non-euclidee** (Lobacevskji) → fine del principio di evidenza come criterio di verità apodittiche → carattere ipotetico delle teorie matematiche → **assiomatizzazione** delle matematiche → matematiche come **teorie formali** (scienza delle relazioni e non delle quantità: Riemann).

«Lobacevskji viene considerato “il Copernico della geometria” come colui che ha rivoluzionato questo campo della matematica creando un'intera branca completamente nuova (...) mostrando **come la geometria euclidea non fosse quella scienza esatta depositaria di verità assolute quale era stata quella precedentemente considerata**. In un certo senso, possiamo affermare che la scoperta della geometria non-euclidea inferse un colpo mortale alla filosofia kantiana, paragonabile alle conseguenze che la scoperta delle grandezze incommensurabili ebbe per il pensiero pitagorico. L'opera di Lobacevskji rese ne-

cessario **modificare radicalmente le concezioni fondamentali circa la natura della matematica**» (Boyer 1968, 621s. Corsivi nostri).

- → Nascita del metodo **ipotetico-deduttivo** → teorie matematiche come **sistemi formali** passibili di diverse **interpretazioni** (= **modelli**) nell'uso applicato delle matematiche alle varie scienze (naturali, umane, tecnologiche) in base a diversi **assiomi di misura** mediante cui dare **un contenuto (significato) empirico** alle teorie formali → controllo empirico delle teorie: **criterio di falsificazione** e non di verifica delle teorie scientifiche.
- → **Separazione assoluta fra forma logica e contenuto empirico** delle teorie scientifiche moderne basate sul metodo ipotetico-deduttivo.

«Di fatto si riconobbe che la validità della deduzione matematica non dipende in alcuna maniera dal particolare significato che può essere associato ai termini o alle espressioni contenute nei postulati. Si vide così che la matematica è molto più astratta e formale di quanto non si supponesse tradizionalmente: più astratta perché, in linea di principio si possono fare affermazioni matematiche su cose assolutamente qualsiasi, anziché su

insiemi intrinsecamente circoscritti di oggetti o di proprietà di oggetti (le proprietà quantitative, N.d.R.), perché la validità delle dimostrazioni matematiche riposa sulla struttura delle affermazioni, piuttosto che sulla natura particolare del loro contenuto. (...) Ripetiamo che l'unica questione riguardante il matematico puro (in quanto distinto dallo scienziato che usa la matematica per studiare un oggetto particolare) non è se i postulati che egli ammette o le conclusioni che egli trae dai primi sono veri, ma se le conclusioni avanzate siano, di fatto, le conclusioni logiche necessarie delle ipotesi da cui è partito (...). Fintantoché abbiamo a che fare col compito essenzialmente matematico di esplorare le relazioni puramente logiche di dipendenza tra le varie affermazioni, i significati familiari dei termini primitivi (i termini con cui sono costruiti gli assiomi di partenza, N.d.R.) devono essere ignorati e gli unici "significati" associati ad essi sono quelli assegnati dagli assiomi in cui entrano. Questo è il significato del famoso epigramma di Russell: la matematica pura è quella scienza in cui non sappiamo di cosa stiamo parlando o se ciò che stiamo dicendo è vero (Nagel & Newman 1993, 23s.).

8.2. Formalismo e reazione della scuola fenomenologica

- Lo sviluppo della logica e dell'epistemologia delle scienze moderne → progressiva separazione della **forma** dal **contenuto extra-linguistico** delle espressioni linguistiche → sviluppo di una logica e di un'epistemologia inadeguate a svariati usi del linguaggio in forme non-scientifiche di comunicazione fra soggetti umani →
- → **Reazione della scuola fenomenologica:** carattere intenzionale (sempre legato a un contenuto) di ogni atto di pensiero e/o di ogni espressione linguistica significativa → contrapposizione fra **logica formale** e **logica materiale** o “logica dei contenuti” (*Inhaltlogik*) (Brentano, Husserl).

8.3. Formalismo e reazione della scuola semiotica

- → **Reazione della scuola semiotica:** L'analisi logica o metalinguistica di un linguaggio inteso come insieme di segni dotati di senso, può essere effettuata considerando **tre classi di relazioni** che le varie parti (parole, frasi, discorsi, etc.) possono avere:
 1. **Con il mittente o con il ricevente** di una comunicazione linguistica

2. Con altre parti del linguaggio

3. Con gli oggetti linguistici o extra-linguistici cui le parti del linguaggio si riferiscono

- Tripartizione della semiotica e della logica [C.W. Morris (1901-1979)]

1. **Pragmatica:** studio dei linguaggi in riferimento alle relazioni dei diversi segni con gli agenti della comunicazione ed alla capacità del linguaggio di modificare i comportamenti (p.es., pubblicità, retorica, etc.). → **Pragmatismo:** se utilità pratica **unico criterio** validità enunciati scientifici [C.S. Peirce (1839-1914)].

2. **Sintattica:** studio dei linguaggi in riferimento alle relazioni dei diversi segni linguistici fra di loro prescindendo sia dai contenuti che dagli agenti della comunicazione. **Sintattica o Logica formale:** parte della logica che studia la sintassi dei linguaggi. → **Formalismo:** se coerenza formale **unico criterio** validità enunciati scientifici [D. Hilbert (1862-1943)].

3. **Semantica:** studio dei linguaggi in riferimento alle relazioni dei diversi segni con i loro oggetti intra- o extra-linguistici (= referenti). **Semantica o Logica**

materiale o Logica dei contenuti: parte della logica che studia la semantica dei linguaggi. → **Realismo:** se verità (adeguazione all'oggetto) dei linguaggi scientifici considerata fondamento della loro stessa coerenza formale.

8.4. Logica ed epistemologia del metodo ipotetico-deduttivo

- Generalmente nell'analisi logico formale delle teorie scientifiche basate sul metodo ipotetico-deduttivo, e quindi sulla distinzione fra **sistema formale** (=componente matematica) e sua **modellizzazione o interpretazione empirica** (= componente empirica), si considerano esclusivamente le **ultime due classe di relazioni** (sintattiche e semantiche) che determinano forma e contenuto delle espressioni e delle argomentazioni delle teorie scientifiche.
- → Ciascuna teoria scientifica, allora, è intesa come **modello empirico** di una determinata teoria matematica formale, come vedremo fra poco approfondendo formalmente il concetto di **modello**.
- Come, cioè, nella epistemologia kantiana esisteva una netta distinzione fra:

- **categorie a priori**, puramente **sintattiche**, perché “vuote di contenuto empirico” e
- **fenomeni**, cioè rappresentazioni empiriche che costituivano “il contenuto empirico” delle categorie
- → dalla loro composizione derivavano **giudizi di esperienza**, asserti logici, sintatticamente coerenti, ma dotati anche di contenuto **semantico** che non trascendeva mai l'immanenza dell'**atto di coscienza**, non arrivava mai, cioè alla realtà **extra-mentale**;
- Così, nell'epistemologia del metodo ipotetico-deduttivo delle scienze moderne, esiste una netta separazione nella costituzione delle teorie scientifiche,
 - fra **sistema formale** puramente sintattico (p.es., un sistema coerente di equazioni algebriche (polinomi/funzioni)) \equiv insieme di enunciati del **calcolo dei predicati** in cui i predicati corrispondono a **funzioni** del calcolo matematico, predicati cioè che hanno per argomenti **termini numerali**, ovvero le variabili o “incognite”, x, y, z, \dots , di un polinomio¹;

- e **modello(i) empirico(i)** di quel sistema formale, ovvero un insieme di **asserti empirici** di misura mediante cui assegnare un valore alle variabili terminali (numerali) dei predicati (funzioni) del sistema formale.
- E' chiaro dunque che nell'analisi logica delle teorie scientifiche si tiene conto esclusivamente delle relazioni **sintattiche e semantiche** del linguaggio stesso, prescindendo assolutamente dalle relazioni con gli **agenti della comunicazione linguistica**, ma per ciò stesso anche dalla relazione della teoria col **referente extra-linguistico** della teoria, ovvero gli enti fisici cui la teoria si riferisce.
 - → Per questo i filosofi della scienza dicono che il **realismo epistemologico** è al massimo un'ipotesi nel metodo ipotetico-deduttivo delle scienze moderne, proprio come Kant diceva che la “cosa è in sé” è un “noumeno”, un “pensabile”, un'ipotesi nel suo rappresentazionismo epistemologico.
 - → **Popper**: l'epistemologia del metodo ipotetico-deduttivo delle scienze moderne è un' **epistemologia senza soggetto conoscente**.

8.5. Dalla logica all'ontologia formale

- Viceversa, quando nell'analisi logica dei linguaggi si tiene conto simultaneamente **di tutte e tre le classi di relazioni** che determinano la forma delle espressioni e delle argomentazioni corrette all'interno di ciascun linguaggio, non siamo più nell'ambito della logica formale (che si limita al solo studio sintattico e semantico), ma della **ontologia formale** → assenza della consapevolezza di questa distinzione nella logica classica pre-scientifica (p.es., aristotelica o scolastica).
- Riferimento dell'ontologia alla pragmatica deriva dal fatto che ogni linguaggio in quanto **sistema di rappresentazioni** è **ontologicamente neutro**: analisi logico-semantica sulla **verità** degli enunciati (*sentences*), sulla loro **soddisfacibilità** (verificabilità o falsificabilità) e sulla loro **referenza** ad oggetti, è analisi che permane a livello squisitamente **linguistico** → riferimento all'ente extra-linguistico (mentale, fisico...) non può trascendere il livello dell'**ipotesi**, come — lo ripetiamo — già Kant si accorse con la sua teoria dell'essere come **noumeno** rispetto ad un intelletto “rappresentazionale”.

- Così nella **teoria dei modelli** entro cui le teorie scientifiche vengono logicamente analizzate, il “riferimento all’oggetto” del sistema formale, del calcolo logico-matematico che costituisce l’ossatura sintattica della teoria, si limita al riferimento del sistema formale all’**asserto di misura** che soddisfa (rende vero $\equiv 1$) o non-soddisfa (rende falso $\equiv 0$), il valore aspettato della variabile numerica dipendente y , argomento della funzione $y=f(x)$, calcolato a priori, astrattamente, in base a certi valori iniziali della variabile indipendente x .
- → Nell’analisi ontologica, centralità dell’analisi dei **linguaggi ordinari** in quanto sono quelli usati dalle diverse comunità di agenti linguistici per interagire fra di loro e con il mondo naturale e culturale in cui sono inseriti.
 - → Ontologia, come scienza dell’essere e delle sue diverse modalità ontologiche (=modi di esistere) e quindi di manifestarsi (= modi di essere conosciuto) e di esprimersi (= modi di essere espresso) **non può non far riferimento all’uomo e al suo pensiero** che diventa allora il *locus metaphysicus* per eccellenza come già Parmenide per primo si accorse, Tommaso ha ribadito (*id quod intellectus primo intelligit est ens*),

Heidegger ha riscoperto, definendo l'uomo "il pastore dell'essere", colui che "conduce l'essere", dal "bosco" del dubbio cartesiano alla "radura" della sua manifestazione.

- → **Linguaggio delle teorie scientifiche**, in quanto prescinde dalla dimensione pragmatica ed espresso necessariamente in un linguaggio simbolico, è **ontologicamente neutro** → acquista un valore **ontologico solo quando divulgato** ovvero espresso in un **linguaggio ordinario** per modificare la mente degli agenti di una determinata comunità linguistica → loro modo di interagire con la realtà naturale e culturale in cui sono inseriti.
- Riferimento all'ente, insomma, ha senso solo quando dal piano delle **rappresentazioni** (sintassi/semantica) si passa a quello delle **azioni** (pragmatica), come già Aristotele per primo si accorse con la sua teoria dell'unità fra atto e oggetto intellettuale, nella sua teoria dell'intelletto come "atto".
- → Linguaggio prima che come **sistema di rappresentazioni** viene inteso come un insieme di **atti linguistici** di soggetti in relazione **attiva-passiva** (causale) fra di loro (comunicazione) e con oggetti del mondo (conoscenza). In questo senso il problema

della referenza e della denotazione extra-linguistica degli **asserti** (*statements*) non può prescindere dalla dimensione **prammatica** del linguaggio (ontologia).

- In questo senso ogni linguaggio in quanto usato da una comunità linguistica è implicitamente un'ontologia → ogni comunità linguistica condivide oltre che determinate **categorie logico-grammaticali** del proprio linguaggio, anche determinate **categorie ontologiche** → senso del termine **ontologia** nelle analisi linguistiche della **scienza delle comunicazioni** e dell'**informatica**.
- → L'ontologia implicita può essere resa esplicita in una determinata filosofia ovvero in una vera e propria **teoria ontologica** (p.es., le diverse metafisiche nelle diverse culture o la metafisica stessa in quanto scienza). In quanto tali, le teorie ontologiche sono espresse nei **linguaggi naturali** di cui sono in qualche modo primariamente costituite e possono essere oggetto di **analisi logica** sintattica e semantica come qualsiasi altra teoria.
- E' questo il senso del termine moderno di **ontologia formale** usato per la prima volta da Husserl nel senso di un'analisi secondo il **metodo fenomenologico** dell'epoché dei fondamenti della logica dal p.d.v. della soggettività trascendentale → analisi dell'atto

di coscienza pre-rappresentazionale in quanto costitutivo dei contenuti della coscienza rappresentazionale. Tentativo di un'interpretazione realista dell'analisi ad opera di M. Scheler, J. Seifert, K. Woityla...

- Tentativo più significativo del XX secolo in campo scientifico (scienze cognitive) dello sviluppo di un'epistemologia realista che interpreta la conoscenza come **azione interiorizzata** è quello ad opera **dell'epistemologia e psicologia genetica** ad opera di J. Piaget.
- L'analisi metalogica della sintassi e della semantica di una determinata ontologia può essere operata anche secondo i canoni della logica scientifica moderna → passaggio dal linguaggio naturale (**LN**) al linguaggio simbolico (**LS**) e quindi al linguaggio formalizzato della logica dei predicati (**L**) e del calcolo dei predicati (**C**) → ontologia formale nel senso dell'**ontologia formalizzata**. E' questo il senso in cui useremo noi la dizione "ontologia formale".

9. Logica delle Proposizioni

- La distinzione fra **logica formale** e **ontologia formale** diviene particolarmente evidente quando trattiamo la **teoria della predicazione**, il cuore cioè di:
 1. Ogni teoria **logica** — laddove cioè la predicazione è analizzata nei termini di una **relazione di appartenenza “ \in ” a due argomenti**, di un elemento x ad una certa **classe “ A ”**, ovvero $\in(x,A)$.
→ Quando, p.es., diciamo: “il sangue è rosso”, intendiamo semplicemente affermare una particolare realizzazione dello schema predicativo generale “ $x \in A$ ”, nel caso specifico: “il sangue appartiene alla classe degli oggetti rossi”
 2. Ogni teoria **ontologica** — laddove cioè la relazione logica di appartenenza è analizzata nei termini di ciò che **suppone e denota** una più fondamentale relazione **ontologica** extra-linguistica (mentale e/o naturale) fra due entità caratterizzate da due **modalità di esistenza** distinte, ma complementari: **l’individuo** (denotato dal soggetto logico: **esistenza individuale**, ciò che esiste in sé, e che quindi può essere moltiplicato) e **l’universale** (denotato dal predicato logico: **esistenza**

nella molteplicità di individui, come ciò che non esiste in sé, ma che proprio per questo è unico e non moltiplicabile).

→ Problema della **modalità di esistenza degli universali**: solo **convenzioni linguistiche** (nominalismo → logica = ontologia), solo **concetti** (concettualismo) o anche **realtà extramentale** (logicismo, naturalismo)?

- Logica scientifica moderna come la scienza moderna è nata appositamente per **tagliar via metodicamente dalla logica** (e dalla teoria della predicazione in particolare) ogni considerazione ontologica → se applicata all'analisi del linguaggio naturale e delle ontologie (p.es., teorie metafisiche) non può che giustificare al massimo un'ontologia **nominalista** (cfr. Quine).

9.1. Logica come analisi del linguaggio [Cfr. GA1, pp. 7ss]

[D'ora in poi si danno per scontate le definizioni delle nozioni fondamentali di logica simbolica e proposizionale del corso di Logica I, in particolare le distinzioni:

linguaggio/metalinguaggio;
formula/proposizione/enunciato/asserto;

connotazione/denotazione;
termine determinante/determinato;
predicato/argomento(i);
predicato terminale/proposizionale;
funzione proposizionale; variabile/costante logica;
predicati (connettivi) proposizionali e loro tavole di verità].

9.1.1. Linguaggi ordinari, simbolici, formali

- **Scopi indagine logica** — da Aristotele fino alla moderna logica matematica — sono sostanzialmente due:
 1. Rendere totalmente **esplicito** il linguaggio (delle teorie, ivi comprese le teorie filosofiche) attraverso il quale si intende parlare di qualcosa e,
 2. Individuare delle **regole** che consentano di stabilire **rapporti di conseguenza logica** tra le proposizioni di tale linguaggio.
- Queste due funzioni della logica si possono esprimere anche dicendo che la logica persegue lo scopo di:

1. **Formalizzare il linguaggio delle teorie** (in breve di elaborare linguaggi formali) e di
 2. **Fornire insiemi di regole formali** (in breve un **calcolo**) per determinare la relazione di conseguenza logica tra le proposizioni dei linguaggi formali in oggetto.
- **La formalizzazione** delle teorie — ovvero, partendo dal **linguaggio ordinario o naturale (LN)**, in cui sono espresse a livello intuitivo, arrivare alla costruzione del **linguaggio formale** proprio della teoria (**L**) —, suppone il passaggio intermedio della costruzione di un appropriato **linguaggio simbolico (LS)**.
 - **Processo di simbolizzazione.** Consiste di tre passi fondamentali:
 1. **Isolamento** delle componenti del linguaggio con **rilevanza logica**;
 2. Loro **disambiguamento** e corrispondente loro traduzione in **espressioni strutturate formalmente** e dotate di **significato univoco**;
 3. Loro **simbolizzazione** attraverso un **linguaggio simbolico convenzionale, LS**, distinguendo fra simboli del **linguaggio-oggetto** della teoria da formalizzare e simboli del **metalinguaggio** della meta-teoria in cui analizzare la prima.

9.1.2. Linguaggi formali, calcoli formali, sistemi formali

- **Processo di formalizzazione.** La costruzione del linguaggio formale della teoria **L**, consiste di due passi fondamentali, ovvero usando LS:
 1. **Determinazione** degli assiomi (= formule a **zero premesse**) necessari e sufficienti a dedurre le proposizioni (teoremi) della teoria, accertando:
 - a. Che siano **realmente assiomi** ovvero formule non derivabili da altre più fondamentali.
 - b. Che siano in numero **finito**.
 - c. Che siano reciprocamente **non-contraddittori**.
 2. **Determinazione** delle regole di deduzione **<D>**, appropriate per derivare i teoremi dagli assiomi.
- L'insieme del linguaggio formale e delle regole di deduzione costituiranno un **calcolo CA**, $CA = \langle L, D \rangle$, ovvero un **sistema deduttivo simbolizzato e formalizzato**, che sintatticamente si definisce un **sistema formale**.
- → La stessa **teoria logica della dimostrazione**, nelle sue due componenti di **logica delle proposizioni** e **logica dei predicati**, può essere formalizzata nei termini, ri-

spettivamente, di un appropriato **calcolo proposizionale** e di un appropriato **calcolo dei predicati** con una loro **sintassi** e **semantica**.

- Generalmente il metalinguaggio con cui analizzare la **consistenza**, la **correttezza** e la **completezza** di questi due calcoli è un ulteriore linguaggio formale, quello della **teoria degli insiemi**.
- Per passare a introdurre le nozioni fondamentali dei calcoli proposizionali modali e intensionali occorre accennare almeno al **simbolismo** delle nozioni fondamentali sintattiche e semantiche del **calcolo proposizionale** e del **calcolo dei predicati** classici, ovvero **estensionali**.

9.2.Cenni di logica e calcolo proposizionali [BO, capp. 4-5]

- In questo paragrafo reintrodurremo in modo simbolico, semi-formalizzato le **nozioni fondamentali di logica delle proposizioni** e del **calcolo semantico delle proposizioni** (= calcolo vero-funzionale mediante le **tavole di verità**) già usate a livello intuitivo nel corso di Logica I.

9.2.1. Cenni di sintassi

- Nell'analisi logica ogni teoria o insieme di formule considerata come un sistema formale che, sintatticamente, significa un calcolo **CA** costituito da un linguaggio **L** e da un insieme di regole deduttive **D** \rightarrow **CA** = $\langle \mathbf{L}, \mathbf{D} \rangle$.
 - **L** costituito da un alfabeto **A** e da regole di formazione **F** \rightarrow **L** = $\langle \mathbf{A}, \mathbf{F} \rangle$.
- Il metalinguaggio della logica delle proposizioni è il calcolo proposizionale classico **k** = $\langle \mathbf{Lk}, \mathbf{Dk} \rangle$ con **L** = $\langle \mathbf{Ak}, \mathbf{Fk} \rangle$.
- **Ak** di **k** costituito dai seguenti segni (teorici e metateorici)²
(Sull'uso di questi segni e sulla loro novità rispetto a quelli usati finora, vedi il testo della nota 2 alla fine del documento).

Alfabeto di k (A_k)

Linguaggio	Metalinguaggio
a. Variabili proposizionali: p, q, r, \dots	a. Metavariabili proposizionali: $\alpha, \beta, \gamma, \dots$
b. Costanti proposizionali: non: \neg (\sim) [NEGAZIONE] e: \wedge (\cdot) [CONGIUNZIONE] o: \vee [DISGIUNZIONE] se...allora: \rightarrow (\supset) [IMPLICAZIONE MATERIALE] se e solo se: \leftrightarrow (\equiv) [EQUIVALENZA]	b. Metacostanti proposizionali: non et vel \Rightarrow \Leftrightarrow
c. Segni ausiliari: (,)	c. Segni ausiliari: (,)

- L'insieme $\{\mathbf{Fk}\}$ delle regole di formazione di formule che appartengono all'insieme X delle formule ammissibili in \mathbf{k} è costituito dalle clausole della seguente **definizione induttiva** delle formule per \mathbf{k} , a partire da formule atomiche (base) verso formule molecolari (passo):
 - i. p, q, r, \dots sono formule (atomiche di \mathbf{k})
 - ii. se α è una formula allora $\neg\alpha$ è una formula
 - iii. se α, β sono formule, allora ogni $\alpha \wedge \beta$, $\alpha \vee \beta$, $\alpha \rightarrow \beta$, $\alpha \leftrightarrow \beta$ sono formule
 - iv. non ci sono altre formule
(le clausole ii-iv riguardano le formule molecolari di \mathbf{k}).

9.2.2. Cenni di semantica

- La semantica s'interessa delle relazioni fra linguaggio e ciò di cui il linguaggio parla
 \rightarrow nozione di **interpretazione** mediante cui si attribuisce a ogni variabile proposizionale un **valore di verità** = dire se lo stato di cose espresso da quella variabile è realizzato o meno \rightarrow si attribuisce a quella variabile il valore 1 o 0.

9.2.2.1. Definizioni preliminari

- Interpretazione (I) α :
 - V sia l'insieme delle variabili proposizionali di **k**:

$$I:V \rightarrow \{0,1\}$$

I è una funzione che associa ad ogni variabile: p, q, r, \dots un valore di verità:
 $I(p)=1, I(q)=0, I(r)=1, \dots$ è un'interpretazione o **modello** di quelle variabili.

- Proprietà di **vero-funzionalità** dei connettivi logici $\neg p, p \wedge q, p \vee q, p \rightarrow q, p \leftrightarrow q$:
è possibile assegnare univocamente un valore di verità a ciascuna delle proposizioni composte a partire dai soli valori di verità delle proposizioni atomiche componenti, in base alle seguenti **tavole di verità** dei connettivi logici:

p	q	$\neg p$	$p \wedge q$	$p \vee q$	$p \rightarrow q$	$p \leftrightarrow q$
1	1	0	1	1	1	1
1	0	-	0	1	0	0
0	1	1	0	1	1	0
0	0	-	0	0	1	1

- Oppure in forma più sintetica:

\neg	
0	1
1	0

\wedge	0	1
0	0	0
1	0	1

\vee	0	1
0	0	1
1	1	1

\rightarrow	0	1
0	1	1
1	0	1

\leftrightarrow	0	1
0	1	0
1	0	1

- Le tavole sintetiche si leggono nel modo seguente: il primo argomento è preso dalla colonna all'estrema sinistra e il secondo argomento dalla prima riga.

9.2.2.2. *Tre sensi della disgiunzione “o”*

- Ricordiamo che a proposito della **disgiunzione** “ p o q ”, esistono almeno **tre sensi** diversi di cui bisogna tener conto in logica, ma che spesso dal linguaggio comune **sono confusi**, anche quando lo si usa nei testi di logica per denotarli, e dove dunque fanno fede **solo le tavole di verità** relative per distinguerli³. I tre sensi sono:

1. il senso dell'**alternativa** o **somma logica**, che è quello espresso dalla tavola di $p \vee q$ (1110) *falsa solo quando ambedue sono false*, quando cioè non si esclude che le due disgiunte possano darsi insieme (p.es.: “Isidoro è sacerdote o religioso”, il senso di “o” è propriamente quello di “e/o”, del latino *vel*), esistono almeno altri due sensi:
2. La **disgiuntiva** (0110), *vera solo quando una delle due è vera*, quando cioè si esclude che le due disgiunte possano andare insieme e non esiste alcun'altra possibilità che scegliere una delle due perché una delle due sarà necessariamente vera: è il senso latino dell' *aut aut* (p.es., come quando si dice: “O è giorno, o è notte”), e dove dunque la tavola di verità sarebbe:

p	q	$p \vee_1 q$
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	0

3. L'**esclusiva** (0111), *falsa solo quando ambedue sono vere*, quando cioè si esclude solo che le due disgiunte possano andare insieme, ma non si esclude la possibilità che si possa non scegliere fra le due, perché esistono altre possibilità e dunque potrebbero essere ambedue false: è il senso latino dell'*aut* (p.es., come quando si dice “Isidoro è cattolico o protestante” che è una disgiunzione che non che Isidoro possa essere nessuna delle due alternative, per esempio buddista o scintoista), e dove dunque la tavola di verità sarebbe:

p	q	$p \vee_2 q$
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	1

- Ma è facile dimostrare che la tavola di verità di queste due ulteriori sensi della disgiunzione si riducono a quelle di particolari combinazioni dei primi tre connettivi logici, e cioè:

1. La tavola di verità per $p \vee_1 q$ si riduce a quella della formula composta $(p \vee q) \wedge \neg(p \wedge q)$, ove, appunto si nega, sia che possano essere ambedue false, ovvero $(p \vee q)$, sia che possano essere ambedue vere $\neg(p \wedge q) \rightarrow (0110)$.
2. La tavola di verità per $p \vee_2 q$ si riduce a quella della negazione della congiunzione, $\neg(p \wedge q)$. Infatti la tavola della verità di $p \vee_2 q$, (0111), altro non è che la negata della tavola della verità della congiunzione $p \wedge q$ (1000).

9.2.2.3. *Tre sensi della condizione “se...allora”*

- Abbiamo già visto due sensi della **condizione**: il senso dell'implicazione “materiale” $p \rightarrow q$, dato dalla tavola della verità (1011), ed il senso della doppia implicazione materiale o “equivalenza” $p \leftrightarrow q$ “se e solo se...allora”, dato dalla tavola di verità (1001).
- Ciò che distingue anche a prima vista i due sensi è la **simmetricità** della relazione condizionale fra antecedente e conseguente nell'equivalenza, a differenza dell'**asimmetricità** della relazione condizionale nell'implicazione materiale.

- Ovvero: nel caso dell'equivalenza, il senso della proposizione complessa rimane immutato **se scambiamo di posto** alle due proposizioni semplici componenti: l'antecedente e il conseguente.
- P.es., è del tutto equivalente dire, al livello del mare, “se e solo se l'acqua bolle è a cento gradi, allora bolle”, oppure “se e solo se l'acqua bolle è a cento gradi”. Si tratta dunque di due espressioni dal significato **equivalente**.
- In termini della relazione condizionale che le contraddistingue, si può dire che l'una è **condizione necessaria e sufficiente** dell'altra.
- È chiaro allora che, equivalenza vuol dire simmetricità della relazione condizionale e questa simmetricità vuol dire che, nei due sensi della relazione, l'una è rispetto all'altra condizione necessaria e sufficiente, allora nel caso dell'**asimmetricità** della relazione condizionale dell'implicazione materiale, **l'una è condizione necessaria e l'altra sufficiente** della verità formale dell'implicazione, e quale sia l'una o l'altra **dipende univocamente dal posto** che assume nella relazione e che **non può essere in alcun modo invertito**.
- Ora, se riflettiamo un attimo sulla tavola di verità della implicazione materiale (1011), si vede chiaramente che la verità dell'implicazione non dipende mai dalla

verità dell'antecedente, viceversa, nel caso in cui l'antecedente sia vera, **necessariamente** per la verità dell'implicazione dovrà essere vera la conseguente.

- Nel simbolismo usato $p \rightarrow q$, dunque, p deve denotare la condizione solo **sufficiente**, q quella **necessaria**, il che va quasi sempre contro il senso comune. P.es., è chiaro a tutti che l'espressione “se ho due monete da cinquanta euro (p), allora ho cento euro (q)”, l'antecedente intuitivo corrisponde a quello simbolico. Avere due monete da cinquanta è infatti condizione solo **sufficiente** ad avere cento euro — potrei avere cento euro anche avendo un'altra combinazione di monete, quindi $((0 \rightarrow 1) \equiv 1)$ —, mentre avere cento euro è **necessario**, se ho due monete da cinquanta. Infatti $((1 \rightarrow 1) \equiv 1)$, invece se $((1 \rightarrow 0) \equiv 0)$, mai cioè se ho due monete da cinquanta **non avrò** cento euro.
- Tuttavia, in molti casi, nel linguaggio ordinario si fa confusione. P.es., “se c'è fumo allora c'è fuoco” sarebbe falso simbolizzarlo con $p \rightarrow q$, dove “c'è fumo” $\equiv p$, e “c'è fuoco” $\equiv q$. Infatti il fuoco è condizione solo **sufficiente** al darsi del fumo (p.es., ci potrebbe essere del ghiaccio secco nell'acqua a produrlo), viceversa se c'è del fuoco è **necessario** che via sia fumo. Quindi la simbolizzazione sarebbe l'altra “c'è fumo” $\equiv q$, e “c'è fuoco” $\equiv p$, $p \rightarrow q$, ovvero “se c'è fuoco allora c'è fumo”.

- Ma non è questo il senso della proposizione del senso comune: “se c’è fumo allora c’è fuoco”. Essa di fatto, allora, esprime un’altra condizione, quella che in contesti normali, esiste un’**equivalenza** fra l’accadere del fumo e l’accadere del fuoco. Si sta cioè dicendo che “solo e solo se c’è fuoco c’è fumo”, e viceversa, quindi la presenza di fumo è *ipso facto* segno di pericolo del fuoco. Perciò la simbolizzazione corretta dell’espressione del senso comune di cui sopra è $(p \leftrightarrow q)$, ovvero $(q \leftrightarrow p)$.

9.2.3. Uso delle tavole di verità

9.2.3.1. Principio di vero-funzionalità

- Come già detto, il principio fondamentale della semantica del calcolo proposizionale è il principio di **vero-funzionalità** secondo il quale il valore di verità di una **proposizione complessa** dipende dal valore di verità delle **proposizioni elementari componenti**.

- Il metodo con cui verificare formule proposizionali complesse (determinare il valore di verità delle formule più interne, fino a determinare il valore di verità dell'intera formula) è spiegato sia in [GA1, pp. 42-ss.], sia più diffusamente in [BO, cap. III].

- Sono così possibili **tre casi**:

1. **Proposizioni valide o tautologie o leggi logiche**: sono quelle proposizioni complesse che sono sempre vere per qualsiasi combinazione dei valori di verità delle proposizioni componenti.

P.es.: La formula $\langle (p \rightarrow q) \wedge p \rightarrow q \rangle$ («Se piove, allora la terra è umida, ma piove, dunque la terra è umida») è **valida**, infatti è vera per qualsiasi sostituzione delle variabili. Costituisce infatti la formalizzazione della famosa legge logica del *modus ponendo ponens*, base di qualsiasi teoria deduttiva.

In [BO, cap. V] sono elencate e commentate quasi 80, le più importanti, leggi di logica delle proposizioni.

2. **Proposizioni soddisfacibili o contingenti**: sono quelle proposizioni che sono vere (soddisfacibili) solo per alcune sostituzioni delle variabili.

P.es.: La formula $\langle p \rightarrow (q \wedge p) \rangle$ è falsa con $q/0, p/1$ (infatti, con queste sostituzio-

ni otterremmo $1 \rightarrow (0 \wedge 1)$, quindi, risolvendo la parentesi: $1 \rightarrow 0$, il cui valore è 0), mentre è vera con qualsiasi altra sostituzione.

3. Proposizioni contraddittorie o sempre false: sono quelle proposizioni che risultano false per qualsiasi sostituzione delle variabili.

P.es., $\langle p \wedge \neg p \rangle$ è falsa sia per $p/1$ che per $p/0$. Non per nulla la negata di questa formula, $\langle \neg(p \wedge \neg p) \rangle$, darà una proposizione sempre vera. Quest'ultima formula, infatti, è la formalizzazione del **principio di non contraddizione**, la più fondamentale delle leggi logiche.

9.2.3.2. Metodo di verifica della validità di un'argomentazione mediante negazione della sua falsificabilità

- Generalmente un'argomentazione ha la forma di una **coniunzione di una serie di proposizioni semplici e/o complesse** (premessa) che hanno come conclusione **una proposizione semplice o complessa**.

- La verifica della sua validità, consisterà dunque nel controllare se **per qualche sostituzione delle variabili** si potrà ottenere globalmente una implicazione falsa $\langle 1 \rightarrow 0 \rangle$, che falsificherebbe l'argomentazione rendendola invalida.
- Il metodo delle tavole di verità fornisce un **algoritmo molto semplice** per tale verifica, infatti generalmente, **non ci sarà bisogno** di provare tutte le combinazioni delle possibili sostituzioni delle variabili. Basterà controllare **solo quella(e) che potrebbe(ro) portare alla implicazione falsa finale**.
- La formula del **modus ponendo ponens** prima esaminata ci fornisce un classico esempio. Data la formula $\langle ((p \rightarrow q) \wedge p) \rightarrow q \rangle$ è chiaro che essa è un'argomentazione a due premesse che potrebbe essere falsificata solo per $p/1$ $q/0$. La congiunzione delle premesse sarà 1 se tutte e due le premesse sono vere, quindi se $p/1$ e la conclusione sarà falsa se $q/0$. Ma con queste sostituzioni avremmo : $\langle ((1 \rightarrow 0) \wedge 1) \rightarrow 0 \rangle$, quindi $\langle (0 \wedge 1) \rightarrow 0 \rangle$, e cioè $\langle 0 \rightarrow 0 \rangle$ che dà 1. Quindi la formula è valida.
- Viceversa la formula $\langle ((p \rightarrow q) \wedge q) \rightarrow p \rangle$ è lo schema di una classica fallacia in cui spesso chi non sa di logica incorre, quello cioè di pensare che la verità della conclu-

sione implica la verità della(e) premessa(e). Infatti, la sostituzione che potrebbe falsificarla $p/0, q/1$ effettivamente la falsifica: $\langle((0 \rightarrow 1) \wedge 1) \rightarrow 0\rangle$, quindi $\langle(1 \wedge 1) \rightarrow 0\rangle$, e cioè $\langle 1 \rightarrow 0 \rangle$ che dà 0. Quindi la formula è invalida.

- E' per questo motivo, fra l'altro, che i controlli empirici che possiamo dedurre da una certa teoria scientifica, anche se positivi, non potranno mai verificare la teoria, ma solo falsificarla, se saranno negativi. Infatti, per quest'ultimo caso, è una proposizione valida la legge del cosiddetto **modus tollendo tollens** :
 $\langle((p \rightarrow q) \wedge \neg q) \rightarrow \neg p\rangle$ (se una conclusione è falsa allora certamente sarà falsa anche la congiunzione delle premesse). Infatti, la sostituzione che potrebbe falsificarla sarebbe : $p/1, q/0$, quindi : $\langle((1 \rightarrow 0) \wedge \neg 0) \rightarrow \neg 1\rangle, \langle(0 \wedge 1) \rightarrow 0\rangle$. Ma : $\langle 0 \rightarrow 0 \rangle \equiv 1$.
Quindi la formula è schema di una proposizione **valida**, di una **legge logica**, appunto.

9.2.4. Definizione formalizzata di una teoria

9.2.4.1. *Calcolo Formale come Sistema Formale*

- Approfondendo la costituzione di un calcolo formale, la sua **struttura** e la **natura** degli elementi che lo compongono, possiamo dire che un calcolo formale costituisce un **sistema formale**, ovvero un **sistema deduttivo formalizzato**.
- Con **sistema formale** s'intende nella logica moderna un calcolo formale per il quale si possono fornire diverse **interpretazioni** che corrisponderanno ad altrettante **teorie**.
- Dal punto di vista della sua **struttura** si può dire che un sistema formale è un **linguaggio formale** in cui i termini e/o le proposizioni che appartengono a tale linguaggio sono tutti rigorosamente **dichiarati, o definiti, o dimostrati**, man mano che vengono aggiunti al linguaggio stesso.
 1. Innanzitutto, in tale linguaggio devono essere **dichiarati** quelli che sono i **primitivi** di quel linguaggio, ovvero termini e proposizioni elementari (soggetto - predicato) che non vengono rigorosamente definiti all'interno del linguaggio, ma che si suppongono conosciuti, visto che saranno usati per costruire gi

assiomi, le regole e le definizioni che costituiranno le **proposizioni-base** del sistema formale.

2. Ciò che caratterizza un sistema formale sono poi le **proposizioni-base** di esso:
 - a. Fra di esse, innanzitutto, vi sono gli **assiomi**, proposizioni non dimostrate entro quel linguaggio da cui formare per dimostrazione successive proposizioni. Come sappiamo, essenziale per la rigorosa costruzione di un linguaggio formale è che i suoi assiomi siano in numero finito, che sia dimostrabile la loro reciproca non - contraddittorietà e che siano effettivamente tali, ovvero non deducibili dagli altri assiomi del linguaggio.
 - b. Altro tipo di proposizioni-base sono le **definizioni** dei termini e delle operazioni usati per le deduzioni.
 - c. Vi sono poi le **regole di formazione**, mediante cui le definizioni e le altre proposizioni-base sono costruite a partire dai termini primitivi.

d. Vi sono infine le **regole di deduzione** mediante cui altre proposizioni verranno successivamente e non ambigualmente dedotte a partire dagli assiomi e dalle definizioni.

3. **Tutte le altre proposizioni** costruite a partire dalle **proposizioni-base** costituiranno così altrettanti **teoremi** di quel linguaggio formale. Fra di essi, i teoremi da cui, applicando le regole di deduzione, altri teoremi possono essere dedotti, si definiranno **lemmi**.

9.2.4.2. *Definizione generale di teoria*

- Con teoria T si intende un linguaggio che parla di un certo, limitato, universo di oggetti, ovvero un insieme di proposizioni che, data l'interpretazione I su quell'universo (o interpretazione *standard*), risultano in esse **vere**:

$$T = \{ \alpha : I(\alpha) = 1 \}$$

- P.es., tutte le proposizioni vere dell'**aritmetica elementare** sono considerate l'interpretazione standard I della **teoria dei numeri naturali**.
- È chiaro che l'insieme delle formule $\{ \alpha \}$ di cui T costituisce una interpretazione **vera** può essere anche un **sistema formale**, in tal caso T sarebbe una T **formalizzata**.

9.2.4.3. *Definizione modellistica di teoria*

- In altri termini, in base alla precedente definizione di T esiste il problema di trovare l'insieme delle proposizioni vere che corrispondono a T mediante una **procedura finitistica**, ovvero, con un numero comunque finito di passi.
- → Necessità di un **assiomatizzazione delle teorie**, di derivare cioè tutte le proposizioni **vere**, α , in una teoria, esclusivamente da un insieme **finito** di proposizioni-base privilegiate, in particolare gli **assiomi**, supposti **veri** per quell'universo di oggetti di cui parla la teoria . Definizione modellistica di teoria assiomatizzata, $\mathcal{A}(T)$, usando la nozione di per sé infinitaria, di **conseguenza logica** \Vdash :

$$T = \{ \alpha : \mathcal{A}(T) \Vdash \alpha \}$$

Dove con “conseguenza logica” o **implicazione formale** s'intende la conseguenza **vera** di un'implicazione che, a differenza della conseguenza di un'implicazione “materiale”, può essere implicata solo da premesse a loro volta **vere**. “Vere”, ovviamente, in un contesto limitato, per qualche modello del **sistema formale** soggiacente, perché siamo nell'ambito dell'argomentazione **ipotetica** e non **apodittica**.

- → Definizione di T come **chiusa** rispetto al nesso di conseguenza logica, ovvero ogni proposizione che è una conseguenza logica delle premesse della teoria appartiene alla teoria.
- → Se T fosse anche **completa**, ovvero se fosse vero anche che le sue conseguenze coprono la **totalità** delle proposizioni vere in I, allora la T assiomatizzata coinciderebbe con quella non assiomatizzata.
- I teoremi di Gödel dimostrano invece che la completezza è impossibile, proprio a partire dalla **teoria assiomatizzata della aritmetica elementare**. Essi dimostrano infatti che **non** tutte le proposizioni vere dell'aritmetica elementare sono **decidibili** (dimostrabili) nell'aritmetica **assiomatizzata** (aritmetica di Peano).
- Siccome un precedente teorema di Gödel (**teorema di codifica goedeliana**) che è alla base dell'informatica, dimostra che **qualsiasi linguaggio formalizzato** può essere codificato in termini aritmetici (codifica numerica), i teoremi di incompletezza di Gödel acquistano valore di **teoremi di limitazione universale** per qualsiasi linguaggio formalizzato o teoria assiomatizzata.

10. Logica dei Predicati

10.1. Dalla Logica delle Proposizioni alla Logica dei Predicati [BO, cap. VII]

- La logica delle proposizioni costituisce solo la **parte elementare** della logica deduttiva, ma non può esaurire tutte le forme **valide** di dimostrazione.
- Ad esempio, se traducessimo in termini di logica proposizionale lo schema fondamentale del **sillogismo**, il semplice *Barbara*:

*Se ogni M è P
ed ogni S è M
allora ogni S è P*

Otterremmo la formula $\langle (p \wedge q) \rightarrow r \rangle$ che non è una **legge logica**: infatti per $p/1$, $q/1$, $r/0$ risulterebbe **falsificata**.

- L'errore è che la formula del *Barbara* è una formula di **logica dei termini** non di **logica delle proposizioni**. *M*, *S* e *P* sono variabili **terminali**, non proposizionali.
- Generalmente, la **logica dei termini** si suddivide in:
 1. **Logica dei predicati**
 2. **Logica delle classi**
 3. **Logica delle relazioni**
- Nella logica dei predicati, infatti, non consideriamo più, nello studio delle argomentazioni valide, le proposizioni semplici come altrettante “**scatole nere**”, ma ci interessiamo della loro costituzione **interna**. P.es., il sillogismo e una metodologia d'inferenza deduttiva per connettere in modo valido **soggetto e predicato** nella conclusione a partire dalle connessioni fra soggetto e predicato nelle due premesse (maggiore e minore).
- Così, nella logica dei predicati i due componenti fondamentali non sono variabili proposizionali e predicati (costanti) proposizionali, ma **variabili terminali** (x, y, z, w, \dots) che denotano oggetti individuali generici (in **LN**: “qualcosa”, “qualcuno”), **costanti terminali** (a, b, c, \dots) che rappresentano nomi di oggetti singoli deter-

minati (corrispondenti in **LN**, p.es., a nomi propri nel caso di viventi, denotazioni di oggetti singoli anche inanimati: “quell’auto”, “quella casa”, etc.) e **predicati (costanti predicative) terminali** (P, Q, R, \dots) a $1, 2, 3, \dots, n$ argomenti.

- Per poter simbolizzare **proposizioni universali generiche**, dove cioè gli argomenti dei predicati sono **variabili terminali** (che denotano oggetti individuali generici e non individui singoli) abbiamo bisogno di **due quantificatori**:
 1. **Quantificatore universale**, \forall , “per ogni” $\rightarrow \forall x Px$: “per ogni x che è P ”
 2. **Quantificatore esistenziale**, \exists , “esiste almeno un” $\rightarrow \exists x Px$ “esiste almeno un x che è P ”
- Come sappiamo, le formule quantificate possono essere considerate come **proposizioni** e non come semplici **funzioni proposizionali** perché ad esse possono essere assegnati **valori di verità**. Infatti, malgrado nella formula sono presenti dei segni di variabili, esse sono **vincolate dai quantificatori**, quindi non si tratta propriamente di variabili.

- \rightarrow Possibilità di connettere formule vincolate dai quantificatori mediante i **connettivi logici** del calcolo proposizionale \rightarrow **formule complesse del calcolo dei predicati C**.

10.2. Cenni di sintassi

- Il linguaggio **L** della logica dei predicati è costituito da un alfabeto **A** e regole di formazione **F** $\rightarrow L = \langle A, F \rangle$.

10.2.1. Alfabeto

- Sintetizzando quanto detto finora, abbiamo quattro categorie di segni:
 1. **Variabili individuali:** x, y, z, \dots con eventuali indici sottoscritti. Talvolta questi segni sono presi anche come segni metateorici di variabili.
 2. **Costanti individuali:** a, b, c, \dots che rappresentano nomi di oggetti singoli
 3. **Costanti Predicative:**

$$P_1^1 P_2^1 P_3^1 \dots$$

$$P_1^2 P_2^2 P_3^2 \dots$$

$$P_1^3 P_2^3 P_3^3 \dots$$

Dove P è un segno per una proprietà o relazione e, in generale P_k^n è la k -esima costante predicativa ad n argomenti (n -adica) che indica una relazione fra n individui.

4. Segni logici:

- a. *Connettivi logici*: $\neg, \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow$
- b. *Quantificatori*: \exists, \forall
- c. *Segni ausiliari*: $(,)$

Alfabeto di C

Linguaggio	Metalinguaggio
a. Variabili terminali: x, y, z, \dots	a. Metavariabili terminali: $\alpha, \beta, \gamma, \dots$
b. Costanti terminali: a, b, c, \dots	b. Metacostanti terminali: $\mu, \nu, \omicron, \dots$
c. Costanti predicative: $P_1^1 P_2^1 P_3^1 \dots$ $P_1^2 P_2^2 P_3^2 \dots$ $P_1^3 P_2^3 P_3^3 \dots$	c. Metacostanti predicative: $\varphi_1^1 \varphi_2^1 \varphi_3^1 \dots$ $\varphi_1^2 \varphi_2^2 \varphi_3^2 \dots$ $\varphi_1^3 \varphi_2^3 \varphi_3^3 \dots$
d. Quantificatori \exists, \forall	d. Metaquantificatori: <i>ex, om</i>
c. Costanti proposizionali: non: \neg (\sim) [NEGAZIONE] e: \wedge (\cdot) [CONGIUNZIONE]	b. Metacostanti proposizionali: non et

o: \vee [DISGIUNZIONE]	vel
se...allora: \rightarrow (\supset) [IMPLICAZIONE MATERIALE]	\Rightarrow
se e solo se: \leftrightarrow (\equiv) [EQUIVALENZA]	\Leftrightarrow
c. Segni ausiliari: (,)	c. Segni ausiliari: (,)

10.2.2. Regole di formazione

- **FF: Regole di formazione delle formule α :** coincidono con le clausole della definizione induttiva di formula:

Base: $P_k^n(x_1 \dots x_n)$ è una formula elementare

Passo: **a)** formule molecolari; **b)** formule quantificate

a) $\neg\alpha$ è una formula; $\alpha \wedge \beta$, $\alpha \vee \beta$, $\alpha \rightarrow \beta$, $\alpha \leftrightarrow \beta$ sono formula.

b) $\forall x\alpha$ è una formula; $\exists x\alpha$ è una formula; nient'altro è una formula.

10.3. Cenni di semantica

10.3.1. Regole di quantificazione

- La funzione dei quantificatori è essenzialmente quella di definire **il dominio di soddisfacibilità di un determinato predicato** (qual' è la collezione di elementi che **rende vero** un predicato) , nel caso di proposizioni predicative **universali**, ovvero che non sono vere solo per uno o più singoli individui concreti (denotati da una costante terminale, a , b), ma per **alcuni** (quantificatore esistenziale o particolare, \exists) o **tutti** (quantificatore universale \forall) gli individui generici (denotati da una variabile terminale, x , y) di una certa collezione (classe o insieme in logica, genere (specie) in ontologia).
- Quattro sono le **regole di quantificazione** per trasformare proposizioni **atomiche** del calcolo dei predicati (p.es., «l'uomo è mortale») in proposizioni **molecolari** del calcolo delle proposizioni (p.es., «per ogni x , se x è uomo, allora x è mortale») cui applicare le **regole d'inferenza** relative alle **leggi logiche** del calcolo delle proposizioni per dimostrazioni formali di validità:
 1. $\text{om}\alpha \varphi\alpha \Rightarrow \varphi\forall$: **Esemplificazione Universale (EU)**

2. $\varphi\beta \Rightarrow \text{om}\alpha \varphi\alpha$: **Generalizzazione Universale (GU)**

3. $\text{ex}\alpha \varphi\alpha \Rightarrow \varphi\nu$: **Esemplificazione Esistenziale (EE)** [per $\nu \neq \beta$ e senza occorrenze precedenti]

4. $\varphi\nu \Rightarrow \text{ex}\alpha \varphi\alpha$: **Generalizzazione Esistenziale (GE)**

dove ν è un qualsiasi simbolo individuale e β denota un individuo scelto arbitrariamente.

→ Es.(1): $\langle \forall x Ux \rightarrow Mx \Rightarrow Ua \rightarrow Ma \rangle$ per EU («Se ogni uomo è mortale, allora è vero che, se Antonio è uomo, allora Antonio è mortale»).

→ Es.(2): $\langle Uy \rightarrow My \Rightarrow \forall x Ux \rightarrow Mx \rangle$ per GU («Se un qualsiasi uomo è mortale allora è vero che ogni uomo è mortale»).

→ Es. (3): $\langle \exists x Ux \wedge Vx \Rightarrow Ua \wedge Va \rangle$ per EE («Se esistono degli uomini viziosi, allora è vero che alcuni uomini sono viziosi»).

→ Es. (4): $\langle Pa \Rightarrow \exists x Px \rangle$ per GE («Se io penso, allora è vero che esiste qualcosa che pensa»).

- Abbiamo inoltre due **equivalenze** per definire l'uso di quantificatori e consentire la verifica degli argomenti che li utilizzano, posto che essi sono validi *se e solo se* sono validi qualunque sia il numero degli individui esistenti, supposto che ne esista almeno uno.

1. $\forall x Px \equiv (Pa \wedge Pb \wedge Pc \wedge \dots \wedge Pn)$, per il **quantificatore universale**

2. $\exists x \phi x \equiv (\phi a \vee \phi b \vee \phi c \vee \dots \vee \phi n)$, per il **quantificatore esistenziale**

→ La verifica consisterà allora in tentativi di invalidare l'argomento per **modelli** (mondi possibili) che contengano 1, 2, ..., n individui.

→ P. es., l'argomento $\langle [(\forall x Cx \rightarrow Ax) \wedge (\exists x Cx \cdot Gx)] \rightarrow (\forall x Gx \supset Ax) \rangle$ (Tutti i *collie* sono affettuosi, alcuni *collie* sono cani da guardia, quindi tutti i cani da guardia sono affettuosi) è valido per un modello ad un solo individuo — infatti $\langle [(Ca \rightarrow Aa) \wedge (Ca \wedge Ga)] \rightarrow (Ga \rightarrow Aa) \rangle$ è sempre vero —, ma è invalido per un modello a due individui. Infatti:

$\langle \{[(Ca \rightarrow Aa) \wedge (Cb \rightarrow Ab)] \wedge [(Ca \wedge Ga) \vee (Cb \wedge Gb)]\} \rightarrow [(Ga \rightarrow Aa) \wedge (Gb \rightarrow Ab)] \rangle$
 è falso per $(Ca, Aa, Ga, Gb) / 1$ e $(Cb, Ab) / 0$

10.3.2. Regole sillogistiche

- Possibilità di esprimere entro il calcolo dei predicati tutte le fondamentali regole del calcolo sillogistico.
- Innanzitutto la regola fondamentale di **simbolizzazione** delle proposizioni a quantificazione **universale** e **particolare (esistenziale)**, con le relative **negative**:
 1. «Tutti gli uomini sono animali»: $(\forall x(Ux \rightarrow Ax))$; «Nessun uomo è un angelo»: $(\forall x(Ux \rightarrow \neg Gx))$.
 2. «Qualche uomo corre»: $(\exists x(Ux \wedge Cx))$; «Qualche uomo non corre»: $(\exists x(Ux \wedge \neg Cx))$
- Simbolizzazione della forma fondamentale del **sillogismo in Barbara**:
 $\langle ((\forall x Ax \rightarrow Mx) \wedge (\forall x Ux \rightarrow Ax)) \rightarrow (\forall x Ux \rightarrow Mx) \rangle$ («Se tutti gli animali sono mortali e tutti gli uomini sono animali, allora tutti gli uomini sono mortali»)

- Simbolizzazione della forma *in Barbara* a **quantificazione particolare**:
 $\langle ((\forall x Ix \rightarrow Ex) \wedge (\exists x Ix \wedge Rx)) \rightarrow (\exists x Ex \wedge Rx) \rangle$ («Se tutti gli Italiani sono Europei e alcuni Italiani sono Ricchi, allora alcuni Europei sono ricchi»).
- Simbolizzazione delle **proposizioni tipiche del linguaggio sillogistico**:
universali affermative (tipo A: «Tutti gli Italiani corrono» $(\forall x(Ix \rightarrow Cx))$),
le **universali negative** (tipo E: $(\forall x(Ix \rightarrow \neg Cx))$),
le **particolari affermative** (tipo I: $(\exists x(Ix \wedge Cx))$)
e le **particolari negative** (tipo O: $(\exists x(Ix \wedge \neg Cx))$). Ora è risaputo che i rapporti sussistenti tra queste proposizioni sono quelli illustrati nel seguente schema:

(A) $(\forall x(Ix \rightarrow Cx))$	contrarie	(E) $(\forall x(Ix \rightarrow \neg Cx))$
subalterne	contraddittorie	subalterne
(I) $(\exists x(Ix \wedge Cx))$	subcontrarie	(O) $(\exists x(Ix \wedge \neg Cx))$

- Ebbene, le formulazioni alternative delle proposizioni consentono, ad esempio, di **evidenziare in modo immediato** il rapporto di **opposizione per contraddizione** di A con O e di I con E. Infatti, sostituendo le formule delle caselle superiori con le equivalenti, si ha:

(A) $(\neg \exists x (Ix \wedge \neg Cx))$	contrarie	(E) $(\neg \exists x (Ix \wedge Cx))$
subalterne	contraddittorie	subalterne
(I) $(\exists x (Ix \wedge Cx))$	subcontrarie	(O) $(\exists x (Ix \wedge \neg Cx))$

- E analogamente, sostituendo, invece, le formule delle caselle inferiori:

(A) $(\forall x (Ix \rightarrow Cx))$	contrarie	(E) $(\forall x (Ix \rightarrow \neg Cx))$
subalterne	contraddittorie	subalterne
(I) $(\neg \forall x (Ix \rightarrow \neg Cx))$	subcontrarie	(O) $(\neg \forall x (Ix \rightarrow Cx))$

- Limite del calcolo sillogistico è **duplice**: 1) Tratta solo predicati **monoargomentali** (predicati che esprimono proprietà e non anche relazioni); 2) Non tratta proposizioni con **molteplici quantificatori nidificati**, per la necessità di quantificare **tutte le diverse variabili** di una formula predicativa.
- Le **regole d'uso** per i quantificatori, nel caso di predicati a più di un argomento sono le seguenti:
 1. Quando una funzione contiene diverse variabili, per una quantificazione completa, occorre **assegnare un quantificatore a ciascuna di esse**.
 P.es., nel caso di due variabili $\langle Px, y \rangle$ dove $P \equiv \text{«essere a contatto con...»}$ \rightarrow 4 possibilità: $\langle (\forall x, y)(Px, y) \rangle$; $\langle (\forall x)(\exists y)(Px, y) \rangle$; $\langle (\exists x)(\forall y)(Px, y) \rangle$; $\langle (\exists x, \exists y)(Px, y) \rangle$.
 2. Quando diverse variabili sono quantificate dal **medesimo** quantificatore è **lecito scambiarli di posizione** senza che cambi il senso della proposizione, ovvero porre le variabili come argomento di un **unico quantificatore**.

$$(\forall x)(\forall y)(Px, y) \leftrightarrow (\forall y)(\forall x)(Px, y) \leftrightarrow (\forall x, y)(Px, y)$$

3. Viceversa, quando diverse variabili sono quantificate da **diversi** quantificatori, **non è lecito scambiarli di posizione**, senza cambiare il senso della proposizione. P.es., se $\langle Rx \rangle$ sta per «essere a contatto con»:

$$(\forall x)(\exists y)(Rx, y)$$

Vuol dire «ogni corpo è a contatto con qualche corpo» («Per ogni corpo, esiste almeno un corpo con cui è a contatto»).

Invece:

$$(\exists y)(\forall x)(Rx, y)$$

Vuol dire invece che «qualche corpo è a contatto con tutti gli altri» («Esiste almeno un corpo tale che è in contatto con tutti»).

10.3.3. Teoria dei gradi semantici (dei tipi)

- Negli esempi dati finora ci siamo sempre mossi entro il **calcolo dei predicati del primo ordine**, dove gli argomenti dei predicati e quindi dei quantificatori sono sempre **variabili terminali**, termini che denotano individui.

- Nel calcolo dei predicati del **secondo ordine**, gli argomenti di predicati e quantificatori possono invece anche essere **variabili predicative**, ovvero simboli che denotano predicati, in quanto possono essere argomento di un predicato di ordine logico più alto.
- P.es., tesi tipica della logica dei predicati è il cosiddetto **principio degli indiscernibili** formulato da Leibniz secondo il quale «due individui sono **identici** se tutti i predicati che convengono ad uno convengono ad uno convengono anche all'altro», ovvero:

$$(x = y) := (\forall P)(\forall x, y)(Px \leftrightarrow Py)$$

- Dal punto di vista **ontologico** è chiaro che tutte le ontologie che considerano gli universali come **entità reali** (concettualismo, logicismo, naturalismo) devono necessariamente poter considerare i predicati come altrettanti possibili argomenti di quantificatori e predicati del **secondo ordine**.
- La distinzione fra i diversi ordini di predicazione → nozione di **categorie e gradi semantici**.

- **Categorie semantiche.** Per garantire che le proposizioni del calcolo dei predicati siano **dotate di senso**, è fondamentale che le costanti con cui sostituire le variabili argomento dei predicati appartengano alla **medesima categoria** semantica.
 - P.es., nella funzione proposizionale « x fuma», per ottenere una **proposizione**, vera o falsa che sia, x può essere sostituita solo con termini della medesima categoria semantica, in questo caso con **nomi** (p.es., «locomotiva», «carta», «farfalla», etc.) non con verbi. Infatti, «la locomotiva fuma», «la carta fuma», «la farfalla fuma», sono tutte proposizioni dotate di senso, anche se solo le prime due, in un contesto appropriato, hanno la possibilità di essere vere, mentre la terza è certamente falsa. Invece se sostituissimo x con un verbo, «amare», «bere», etc. otterremmo proposizioni prive di senso: «ama fuma», «beve fuma», etc.
 - → Due termini appartengono alla medesima **categoria semantica** sse sostituiti **alla stessa variabile** otteniamo comunque proposizioni dotate di senso.
 - → Una variabile può essere validamente sostituita solo da termini appartenenti **ad una sola categoria semantica**.

- **Gradi semantici.** Per ottenere proposizioni dotate di senso è indispensabile che il predicato appartenga ad un **grado semantico più alto** del suo argomento:
 - **Al I grado** appartengono nomi di individui;
 - **Al II grado** appartengono espressioni composte da predicati e argomenti del I grado.
 - **Al III grado** appartengono espressioni composte da predicati, almeno un argomento del II grado e, eventualmente anche argomenti del I grado, etc.
 - **P.es.**, la classica antinomia semantica del «mentitore» («Io mento»: se mente dice il vero, se dice il vero allora mente), conosciuta fin dal tempo dei sofisti che l'hanno ideata, dipende dal fatto che nell'espressione non si distinguono bene i gradi semantici coinvolti, come invece lo sono nella seguente espressione: «Io dico: “Ho mentito”». La distinzione dei gradi semantici è evidenziata dalle virgolette interne.

10.4. Limiti della formalizzazione e implicazioni per l'ontologia

- È chiaro che la filosofia ed in particolare l'ontologia e la metafisica, in quanto scienze dimostrative, sono generalmente **teorie del secondo ordine** in quanto i loro asserti hanno per argomenti non tanto enti individuali generici, ma gli stessi generi, ovvero quei predicati che nelle corrispettive teorie del primo ordine svolgono il ruolo di costanti predicative e non di argomenti di essi.
 - P.es., gli asserti delle **scienze biologiche** in quanto teorie del primo ordine hanno per argomenti gli **organismi viventi o i loro costituenti con le loro proprietà**, le varie **filosofie o ontologie della biologia** (p.es., la “teoria dell'evoluzione”) hanno per argomento **la vita stessa e quelle proprietà**.
- Senza poter andare in profondità qui nella questione, bisogna ricordare che, quando abbiamo a che fare con **teorie formalizzate**, per i teoremi di Gödel — ed i connessi teoremi di Skolem e di Dedekind —, esiste una sorta di **relazione d'indeterminazione**, fra **forza dimostrativa** (completezza del calcolo logico sog-

giacente) e **capacità espressive** (categoricità) delle teorie al primo e al secondo ordine.

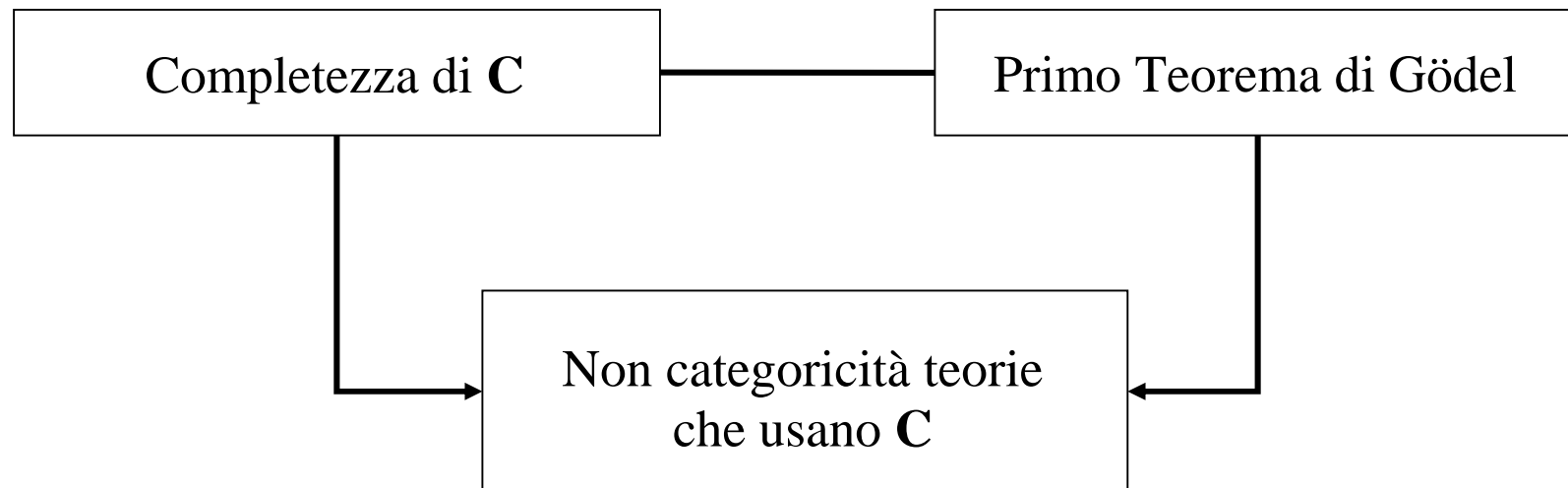
- Per capire almeno in forma iniziale questa affermazione, bisogna ricordare che i teoremi di Gödel di **incompletezza delle teorie assiomatizzate del primo ordine** del 1931, hanno come condizione necessaria la dimostrazione da parte di Gödel stesso della **completezza del calcolo logico dei predicati C del primo ordine** (e incompletezza del calcolo dei predicati del secondo ordine) , ottenuta nel 1929.
 - **Corollario** dei teoremi di Gödel è il cosiddetto **teorema di Skolem**, ovvero il teorema importantissimo che dimostra che **se è una teoria è incompleta** è anche **non-categorica**, ovvero tutti i modelli costruibili della teoria non sono riportabili ad un'unica struttura formale (non sono cioè **isomorfi** fra di loro)⁴.
→ Il senso di mancanza di unitarietà delle teorie scientifiche non è cioè casuale, ma dipende dalla potenza dimostrativa del calcolo formale (metodo dimostrativo: calcolo dei predicati del primo ordine) che usano.
 - **Viceversa** il teorema di Dedekind aveva dimostrato, prima dei teoremi di Gödel e di Skolem, che l'aritmetica del secondo ordine, e quindi ogni teoria

formalizzata del secondo ordine (cfr. nota 4), è **categorica**, anche se per i susseguenti teoremi di Gödel e Skolem, ciò significa che tale espressività dipende dal fatto che è basata su un calcolo del secondo ordine, più debole di quello del primo ordine.

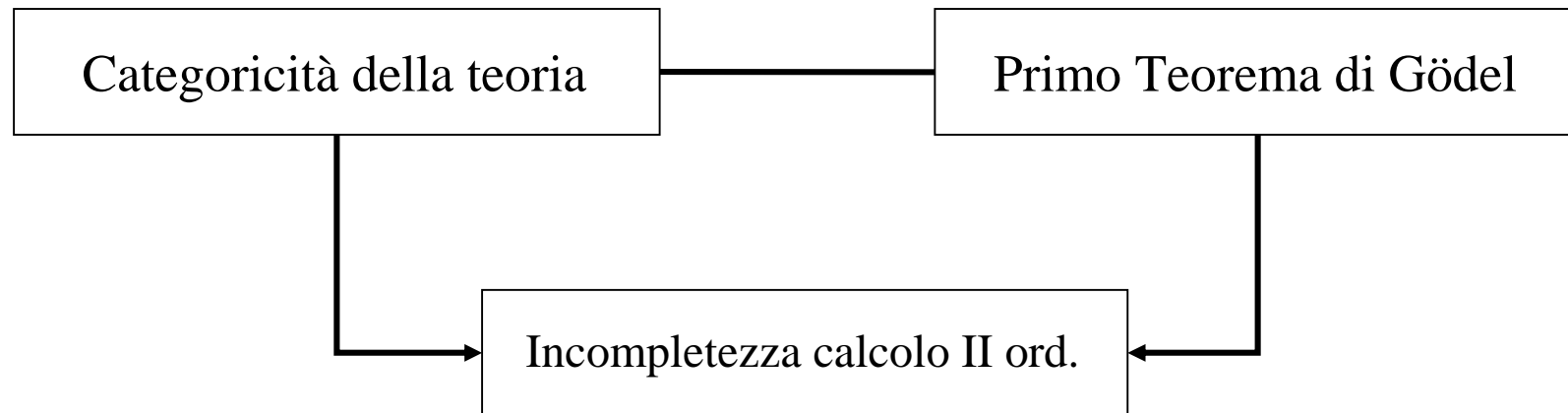
- → **Di qui la seguente relazione d'indeterminazione** (Ennio De Giorgi):
 - **Se una teoria formalizzata** è basata su un metodo dimostrativo molto potente (Calcolo dei predicati del primo ordine), perde in **unità esplicativa** (è non-categorica) → Teorie del **primo ordine** (p.es., teorie scientifiche matematico-sperimentali, in quanto modelli empirici di sistemi formali)
 - **Se una teoria formalizzata** è categorica, dotata di una grande, unitaria ampiezza esplicativa, vuol dire che è basata su un metodo dimostrativo meno potente (calcolo dei predicati del secondo ordine) → Teorie del **secondo ordine** (p.es., teorie logiche e matematiche del secondo ordine, teorie dei fondamenti delle varie discipline scientifiche, teorie di discipline umanistiche, anche filosofiche).

- Questo limite intrinseco alla formalizzazione significa che, sebbene esso sia un metodo da seguire per aiutare la comprensione reciproca anche a livello di teorie filosofiche, dobbiamo essere consapevoli del limite di tale metodo → scegliere volta per volta il miglior compromesso fra **forza dimostrativa** e **capacità (ampiezza) esplicativa** della teoria.

- Schematizzando, per le teorie basate sul calcolo dei predicati del primo ordine \mathbf{C} , in base al teorema di Skolem:



- In base al **teorema di Dedekind** abbiamo invece una mancanza di forza dimostrativa, imputabile al calcolo dei predicati del secondo ordine, per le teorie dotate di maggior capacità esplicativa:



- Lo stato dell'arte della logica formale contemporanea ci assicura così che il processo di formalizzazione o assiomatizzazione delle teorie è un processo da una parte necessario dall'altra inesauribile. Detto nei termini di Gödel: «ciò che possiamo conoscere è molto più di quanto possiamo dimostare»...

INDICE DELLA II PARTE

8.	DALLA LOGICA FORMALE ALL'ONTOLOGIA FORMALE	120
8.1.	NASCITA DEL METODO IPOTETICO-DEDUTTIVO (<i>FNS</i> CAPP. 3-4)	120
8.2.	FORMALISMO E REAZIONE DELLA SCUOLA FENOMENOLOGICA	123
8.3.	FORMALISMO E REAZIONE DELLA SCUOLA SEMIOTICA	123
8.4.	LOGICA ED EPISTEMOLOGIA DEL METODO IPOTETICO-DEDUTTIVO	125
8.5.	DALLA LOGICA ALL'ONTOLOGIA FORMALE	128
9.	LOGICA DELLE PROPOSIZIONI.....	133
9.1.	LOGICA COME ANALISI DEL LINGUAGGIO [CFR. GA1, PP. 7SS].....	134
9.1.1.	<i>Linguaggi ordinari, simbolici, formali</i>	135
9.1.2.	<i>Linguaggi formali, calcoli formali, sistemi formali</i>	137
9.2.	CENNI DI LOGICA E CALCOLO PROPOSIZIONALI [BO, CAPP. 4-5].....	138
9.2.1.	<i>Cenni di sintassi</i>	139
9.2.2.	<i>Cenni di semantica</i>	141
9.2.2.1.	Definizioni preliminari.....	142
9.2.2.2.	Tre sensi della disgiunzione "o"	143
9.2.2.3.	Tre sensi della condizione "se...allora"	146
9.2.3.	<i>Uso delle tavole di verità</i>	149
9.2.3.1.	Principio di vero-funzionalità	149
9.2.3.2.	Metodo di verifica della validità di un'argomentazione mediante negazione della sua falsificabilità	151
9.2.4.	<i>Definizione formalizzata di una teoria</i>	154
9.2.4.1.	Calcolo Formale come Sistema Formale	154
9.2.4.2.	Definizione generale di teoria.....	156
9.2.4.3.	Definizione modellistica di teoria.....	157
10.	LOGICA DEI PREDICATI.....	159
10.1.	DALLA LOGICA DELLE PROPOSIZIONI ALLA LOGICA DEI PREDICATI [BO, CAP. VII]	159
10.2.	CENNI DI SINTASSI	162

10.2.1.	<i>Alfabeto</i>	162
10.2.2.	<i>Regole di formazione</i>	165
10.3.	CENNI DI SEMANTICA	166
10.3.1.	<i>Regole di quantificazione</i>	166
10.3.2.	<i>Regole sillogistiche</i>	169
10.3.3.	<i>Teoria dei gradi semantici (dei tipi)</i>	173
10.4.	LIMITI DELLA FORMALIZZAZIONE E IMPLICAZIONI PER L'ONTOLOGIA	177
INDICE DELLA II PARTE		183
NOTE		185

Note

¹ Es.: un generico polinomio della forma $y - x^2 = 0$, ovvero $y = x^2$, può essere reso funzionalmente, predicativamente, nella forma: “il valore di y è uguale al valore di x al quadrato”. Generalizzando il predicato bi-argomentale “...è quadrato di ...” con il predicato bi-argomentale generico (f) “...essere qualcosa di...”, otteniamo lo schema predicativo $y=f(x)$ di una qualsiasi funzione numerica bi-argomentale (“essere quadrato di”, “essere multiplo di”, “essere somma di”, etc.). Ovvero, raggruppando gli argomenti (x, y) del predicato (f) e ponendo per convenzione la variabile indipendente al primo posto, avremo “elevato al quadrato(x, y)”, da cui lo schema predicativo di qualsiasi funzione numerica bi-argomentale $f(x, y)$.

² N.B.: I segni fra parentesi sono quelli tipici della logica matematica e sono quelli usati finora, perché quelli originari della simbologia di Peano, usati nei *Principia* di Whitehead e Russell e quindi da Bochenski nel nostro manualetto di *Logica I*. Viceversa d’ora in poi useremo altri segni di logica simbolica (p.es., “ \wedge ”, invece del segno del “prodotto logico”, “ \cdot ”, usato finora per denotare il connettivo logico (o predicato proposizionale) *et* della congiunzione logica), perché di uso più generale nella logica

simbolica, in particolare nelle sue applicazioni alle scienze umane e non matematiche, che qui ci interessano.

³ Per esempio, i sensi 2. e 3. che definiamo più sotto, sono denotati da Galvan, rispettivamente come “esclusiva” e “incompatibile”, da Bochensky come “disgiuntiva” ed “esclusiva”, creando grande confusione. Praticamente si è d’accordo solo sul senso 1., che quasi tutti convengono a definire come “alternativa” o disgiunzione “non-esclusiva”. Per questo, al di là delle espressioni ambigue di **LN**, fanno fede solo le tavole di verità che rendono assolutamente non-ambigue le definizioni.

⁴ Di per sé il teorema di Skolem riguarda solo l’aritmetica formalizzata di Peano, ovvero la teoria simbolizzata e assiomatizzata dell’aritmetica, esattamente come i teoremi di incompletezza di Gödel. Ma per il teorema della codifica aritmetica di ogni linguaggio formalizzato dimostrato da Gödel stesso, nel 1929, due anni prima dei suoi due famosi teoremi di incompletezza, tali teoremi e quello di Skolem, possono essere estesi a qualsiasi teoria formalizzata.