

Database

Le basi di dati

- Le basi di dati costituiscono uno dei maggiori campi di applicazione dell'informatica
- Qualunque organizzazione (azienda, usl, scuola, ...) ha un proprio sistema informativo, non necessariamente informatizzato, costituito da:
 - schedari e archivi cartacei: contengono le informazioni, organizzate secondo una certa struttura (schede, campi, codici, ...)
 - **connessioni**: gli archivi sono logicamente collegati tra loro, in funzione delle esigenze informative e operative (rimandi, collegamenti ad altre schede)
- Un data base è un insieme di archivi informatizzati connessi tra loro opportunamente, che rende possibile la consultazione e l'aggiornamento in tempo reale delle informazioni

Le basi di dati

- **Caratteristiche e funzionalità fondamentali di un data base:**
 - **indipendenza:** delle modalità di accesso ai dati dalla struttura fisica di memorizzazione
 - **consistenza:** coerenza interna alla base di dati, tra le informazioni in essa rappresentate
 - **concorrenza:** accesso contemporaneo ai dati da parte di diversi operatori e programmi
 - **integrità (robustezza):** protezione e ripristino dei dati in caso di guasti hardware, crash di sistema ...
 - **sicurezza (privatezza):** accesso controllato e selettivo alle informazioni da parte di operatori abilitati, con diversi ruoli

- **Altri requisiti:** efficienza, scalabilità, amministrazione,

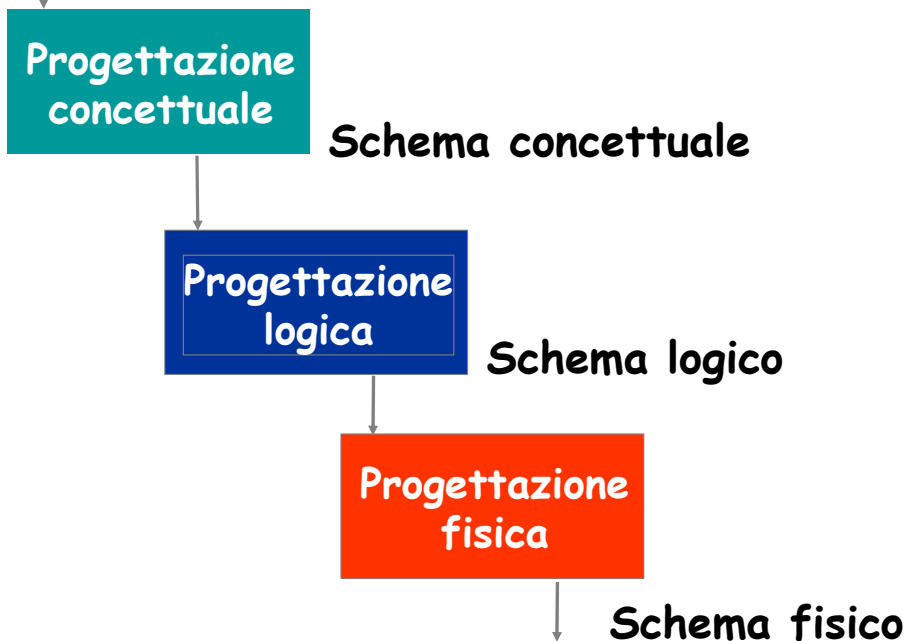
Le basi di dati

- **DBMS (*Data Base Management System*):** software specializzato progettato per semplificare la realizzazione e la gestione di un data base
- Un DBMS è un software applicativo che consente la realizzazione di:
 - una struttura dati adeguata per l'informatizzazione di un sistema informativo tradizionale
 - interrogazioni (*query*) e applicazioni (*procedure*) basate sui dati contenuti nel database
- Un DBMS deve garantire le funzionalità precedentemente elencate, prima tra tutte l'*indipendenza* dell'accesso alle informazioni dalla struttura fisica dei dati:
 - **indipendenza tra la "struttura logica" (definizione dei dati ad alto livello) e la struttura fisica (dettagli di implementazione relativi a files e dispositivi dove vengono registrati i dati)**
 - **indipendenza tra dati e interrogazioni:** linguaggio SQL
 - **indipendenza tra dati e programmi:** una modifica alla struttura fisica di un dato non deve comportare la necessità di modificare le procedure che lo utilizzano
- **Soluzioni per raggiungere l'indipendenza:**
 - **dei Dati:** introduzione del riferimento alle informazioni per nome invece del riferimento per posizione fisica all'interno del file/record
 - **delle Connessioni:** diverse architetture ...

Architetture DBMS

- Reticolare / Gerarchica:
 - utilizzano riferimenti fisici diretti fra record: introduzione nel db di dati fittizi (puntatori fisici), che non rappresentano informazioni reali, aggiunti allo scopo di creare connessioni tra record di diversi archivi
 - le interrogazioni possibili dipendono dalla struttura dei puntatori previsti
- Relazionale
 - basato esclusivamente sui valori dei dati rappresentati nel database
 - anche i collegamenti fra entità diverse sono rappresentati per mezzo dei valori reali assunti dai dati chiave corrispondenti (puntatori "logici")
 - qualsiasi query è ottenibile mediante operatori standard ("algebra relazionale")
- Ad Oggetti:
 - più recente e ancora poco diffusa, ispirata alla programmazione ad oggetti:
 - una classe (di oggetti) consiste non solo di dati (*proprietà*), ma anche delle procedure (*metodi*) per l'accesso e la manipolazione controllata dei dati stessi
- Principali DBMS relazionali:
 - Server: Oracle, DB2, Ingres, SQL Server, Caché, ...
 - Server (open-source): PostgreSQL, MySQL
 - Desktop: MSAccess, MSJet (engine), MSDE, ...

Analisi dei requisiti



Progettazione di una base di dati

- **Analisi dei requisiti**
 - Cosa vogliamo realizzare ?
 - quale realtà (mondo) vogliamo rappresentare nella base di dati
 - quali dati dobbiamo registrare
 - quali applicazioni vogliamo realizzare su di essi
 - quali operazioni sono più frequenti, o devono essere particolarmente efficienti
- **Progettazione Concettuale:**
 - Modello E-R (Entity-Relationship): modello di rappresentazione della realtà
 - Modello UML (Unified Modelling Language): stessi concetti, simbolismo diverso
- **Progettazione Logica:**
 - Modello Relazionale: nuovo modello di ispirazione matematica ("relazione")
 - Normalizzazione: teoria sistematizzata per affinare lo schema logico, attraverso l'analisi delle dipendenze funzionali tra informazioni
- **Progettazione Fisica:**
 - Tiene conto delle specifiche del DBMS che si utilizza per implementare la base di dati reale
 - Definizione di tipo e dimensioni di memoria dei singoli dati da memorizzare
 - Si considerano il carico di lavoro e le prestazioni del sistema e si valutano ulteriori modifiche per rendere più efficiente il database (ottimizzazioni)

Analisi dei requisiti

- L'analisi dei requisiti consiste nella definizione delle caratteristiche e funzionalità che l'applicazione dovrà garantire e delle situazioni che dovrà permettere di gestire:
 - aspetti statici (strutture dati)
 - aspetti dinamici (operazioni sui dati)
- Fonti da considerare per l'individuazione dei requisiti del sistema:
 - utenti dell'applicazione: tutte le categorie di utenti, perché utenti diversi possono fornire indicazioni diverse, in genere gli utenti a livello più alto possiedono una visione più ampia, ma meno dettagliata
 - documenti esistenti: moduli, regolamenti, procedure, normative interne all'organizzazione, già elementi costitutivi del sistema informativo
 - applicazioni preesistenti: da rimpiazzare o con cui il nuovo sistema dovrà interagire
- Si parte cercando di individuare gli aspetti essenziali, per procedere poi al raffinamento per approssimazioni successive: in questa fase sarà necessaria una notevole interazione tra analista-progettista e utenti
- Si arriva alla definizione delle specifiche, relative ai dati e alle operazioni sui dati che devono essere garantite, espresse generalmente in linguaggio naturale

La progettazione concettuale

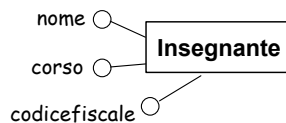
Il modello Entità-Relazione

Progettazione concettuale

- La progettazione concettuale è un modo di formalizzare una rappresentazione della realtà vicino al modo di pensare umano
- Processi logici che intervengono nella progettazione concettuale:
 - Astrazione: separazione di alcuni aspetti della realtà da altri, cui sono in effetti connessi; di fronte alla complessità della realtà si opera una scelta distinguendo le caratteristiche che ci interessano dalle altre, che vengono ignorate
 - Unificazione: riduzione di più oggetti (parti) ad una sola unità
 - Classificazione: suddivisione di un insieme di unità/oggetti in classi
 - Generalizzazione: creazione di nuove classi più ampie, a partire da classi già formate
- Schema concettuale: rappresentazione del contenuto informativo della base di dati, in termini puramente concettuali:
 - senza preoccuparsi delle modalità di codifica e registrazione
 - né dell'efficienza delle procedure che faranno uso di queste informazioni, ovvero delle modalità di accesso ai dati
 - senza riferimento a un sistema informatico reale

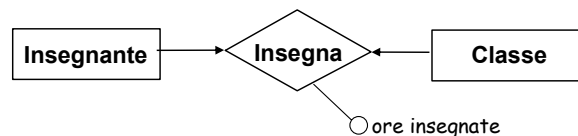
Progettazione concettuale

- **Entità:** insieme di oggetti del mondo reale distinguibili da altri oggetti, che possiamo raggruppare in una classe
- Una entità è caratterizzata da un insieme di **attributi**
 - La scelta degli attributi riflette la nostra analisi della realtà da cui abbiamo astratto gli aspetti di interesse: descrivono il livello di dettaglio con il quale vogliamo rappresentare le informazioni sulle entità
 - Un sottoinsieme minimale di attributi che identificano univocamente gli elementi dell'entità prende il nome di chiave (candidata)
 - Se sono presenti più chiavi candidate, una di esse viene designata come **chiave primaria**



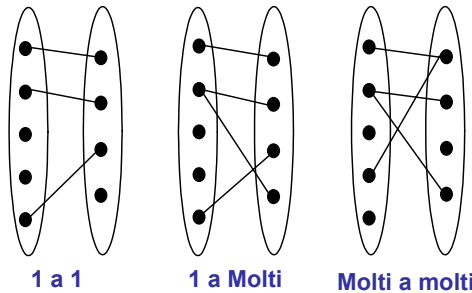
Progettazione concettuale

- **Relazione o Associazione:** connessione logica tra entità
 - di solito una associazione coinvolge due entità (associazione binaria), ma può coinvolgere anche più entità (es. ternaria), o connettere una entità con se stessa
 - una associazione è caratterizzata in primo luogo dalla **cardinalità** delle entità coinvolte: numero (minimo e massimo) di occorrenze di una associazione a cui un elemento dell'entità può partecipare
 - anche le associazioni possono avere *propri* attributi descrittivi: ad es. l'associazione Insegna tra le entità Insegnante e Classe ha l'attributo *ore insegnate*



Progettazione concettuale

- **Cardinalità** di una associazione tra entità: numero (minimo e massimo) di occorrenze della relazione a cui un elemento dell'entità può partecipare
 - l'associazione più comune è quella uno-a-molti (1:n): a un elemento di una entità corrispondono più elementi dell'altra entità
 - le associazioni uno-a-uno (1:1): sono abbastanza rare e, quando non vi siano altre considerazioni a sconsigliarlo, le due entità possono essere *unificate*
 - le associazioni multi-a-molti (n:m): a un elemento di una entità corrispondono più elementi dell'altra entità e viceversa; non sono così frequenti, ma sono le più problematiche
 - es. l'associazione *Insegna* tra le entità *Insegnante* e *Classe* è di tipo (n:m)



Modello E-R

- **Grafo E-R**
 - le entità si rappresentano con i rettangoli
 - gli attributi si rappresentano con dei pallini (pieni se costituiscono la chiave primaria)
 - le associazioni si rappresentano con le losanghe (rombi)



- la freccia indica che gli elementi dell'entità possono entrare nella relazione una o più volte
- le cardinalità possono essere indicate con la notazione (non molto intuitiva):

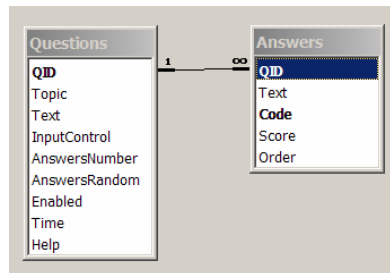


es. una persona può risiedere in una sola città, nella quale possono vivere (da 0 a) n persone

Modello UML

- **Rappresentazione UML**
 - le entità vengono rappresentate da rettangoli, contenenti :
 - in alto il nome dell'entità
 - all'interno: gli attributi (evidenziando gli attributi che costituiscono la chiave primaria)
 - le associazioni sono indicate con una linea di collegamento tra le entità:
 - le cardinalità vengono riportate (più intuitivamente) accanto alla entità, ed in pratica risultano invertite rispetto al diagramma ER
 - notazione molto vicina alla logica del modello relazionale
es. una domanda può avere n risposte:

- La formalizzazione UML è molto vicina alla progettazione logica, utilizzata nella progettazione dei database relazionali, e adottata da molti DBMS (e CASE), incluso Access



Progettazione concettuale

- **Top-down:** si parte da concetti molto generali ed astratti per andare verso concetti più concreti e dettagliati
- **Bottom-Up:** si parte dai requisiti dettagliati, raggruppandoli in concetti più astratti
- Un buon punto di partenza è costruire un glossario dei termini a partire dalle specifiche definite nella fase di analisi dei requisiti, descritte generalmente in linguaggio naturale:
 - utile non solo per sanare ambiguità, individuare sinonimi, unificare i termini, del linguaggio naturale utilizzati nella definizione delle specifiche
 - ma soprattutto per individuare i concetti principali, che costituiranno le entità del mondo che stiamo andando a rappresentare

Progettazione concettuale

- Il progetto E-R è notevolmente soggettivo: ci sono spesso molti modi per modellare un dato scenario
- Scelte di progetto:
 - un concetto dovrebbe essere modellato come una entità o come un attributo ?
 - un concetto dovrebbe essere modellato come una entità o come una relazione?
 - identificare le relazioni: binarie o ternarie (n-arie) ?
- Indicazioni generali per la modellazione dei concetti:
 - se un concetto ha proprietà significative e descrive oggetti con esistenza autonoma -> entità
 - se è un concetto semplice e non ha proprietà rilevanti -> attributo (di un altro concetto a cui è riferibile)
 - se correla due o più concetti, già individuati come entità -> relazione
 - se una relazione è di cardinalità (n:m) e/o ha proprietà proprie -> entità
 - se un concetto è un caso particolare di un altro -> generalizzazione entità
- Lo schema concettuale risultante verrà in seguito rianalizzato e ristrutturato nella fase di **progettazione logica**, con una metodologia sistematica, oggettiva e ben formalizzata, di derivazione matematica

Progettazione concettuale

- *Esempio: Indirizzo* dovrebbe essere modellato come un attributo di Utente o invece come una entità, connessa a Utente da una relazione ?
- Dipende dalla realtà che dobbiamo rappresentare e dall'uso che vogliamo fare delle informazioni sull'indirizzo:
 - per prima cosa bisogna valutare se considerare l'indirizzo come una semplice stringa alfanumerica, o strutturarlo invece come un attributo *complesso*, costituito di un certo numero di attributi *atomici*: via, n.civico, località, comune, provincia, nazione, CAP, ...
 - se la struttura dell'attributo (via, n., località, ...) è importante per effettuare ricerche su una sua parte (es. trovare gli Utenti che risiedono in una determinata via), sarà conveniente modellare *indirizzo* come una entità, strutturata nei suoi attributi atomici
 - se si possono avere diversi indirizzi per utente, il concetto deve essere modellato come entità, perché gli attributi non possono (non devono) assumere valori multipli
 - a maggior ragione se l'attributo è complesso, per evitare una proliferazione di attributi ripetuti in Utente
- In generale, quando abbiamo un attributo che può concettualmente assumere più valori, cioè occorre poter registrare valori multipli dell'attributo per un elemento di una entità, si possono avanzare due soluzioni:
 - soluzione da evitare: moltiplicare il numero di attributi (indirizzo1, indirizzo2, ...)
 - soluzione corretta: modellare l'attributo come una nuova entità, associata alla prima da una relazione 1:n

Progettazione concettuale

- Esempio: Società di formazione
- Si vuole realizzare una base di dati per una società che eroga corsi, di cui vogliamo rappresentare i dati dei partecipanti ai corsi e dei docenti. Per gli studenti (circa 5000), identificati da un codice, si vuole memorizzare il codice fiscale, il cognome, l'età, il sesso, il luogo di nascita, il nome degli attuali datori di lavoro, i posti dove hanno lavorato in precedenza insieme al periodo, l'indirizzo e il numero di telefono, i corsi che hanno frequentato (in tutto circa 200) e il giudizio finale.
- Rappresentiamo anche i seminari che stanno attualmente frequentando e, per ogni giorno, i luoghi e le ore dove sono tenute le lezioni. I corsi hanno un codice, un titolo e possono avere varie edizioni con date di inizio e fine e numero di partecipanti. Per gli studenti liberi professionisti, vogliamo conoscere l'area di interesse e il titolo. Per quelli che lavorano alle dipendenze, vogliamo conoscere invece il livello e la posizione ricoperta.
- Per gli insegnanti (circa 300), rappresentiamo il cognome, l'età, il luogo di nascita, il nome del corso che insegnano, quelli che hanno insegnato nel passato e quelli che possono insegnare, e tutti i recapiti telefonici. I docenti possono essere dipendenti interni della società o collaboratori esterni.

Glossario dei termini

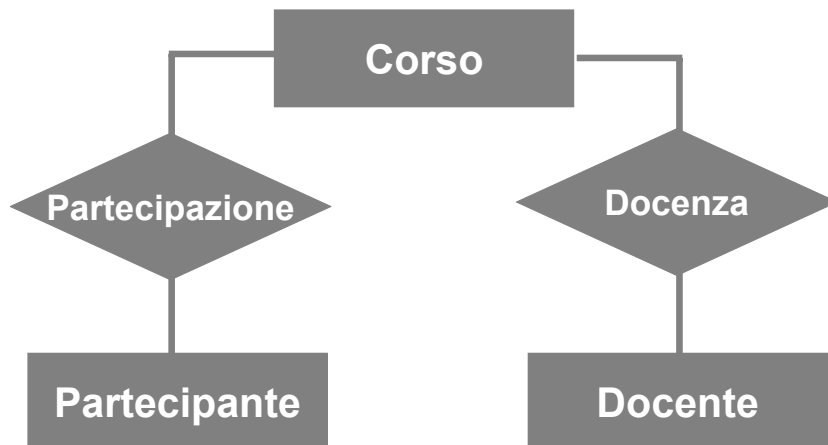
Termine	Descrizione	Sinonimi	Collegamenti
Partecipante	Persona che partecipa ai corsi	Studente	Corso Società
Docente	Docente dei corsi Può essere interno o esterno	Insegnante	Corso
Corso	Corso organizzato dalla società Può avere più edizioni	Seminario	Docente
Società	Ente presso cui i partecipanti lavorano o hanno lavorato	Posti	Partecipante

...

Frase di carattere generale

Si vuole realizzare una base di dati per una società che eroga corsi, di cui vogliamo rappresentare i dati dei partecipanti ai corsi e dei docenti.

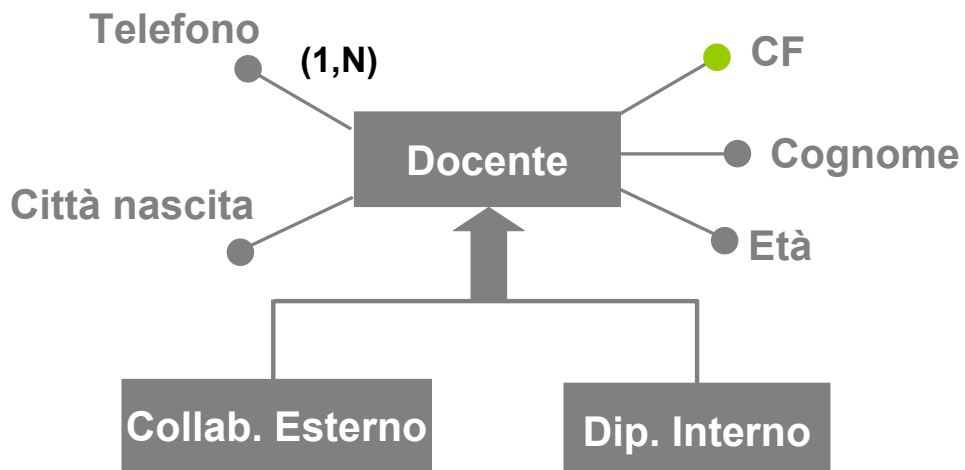
Schema scheletro



Frasi relative ai docenti

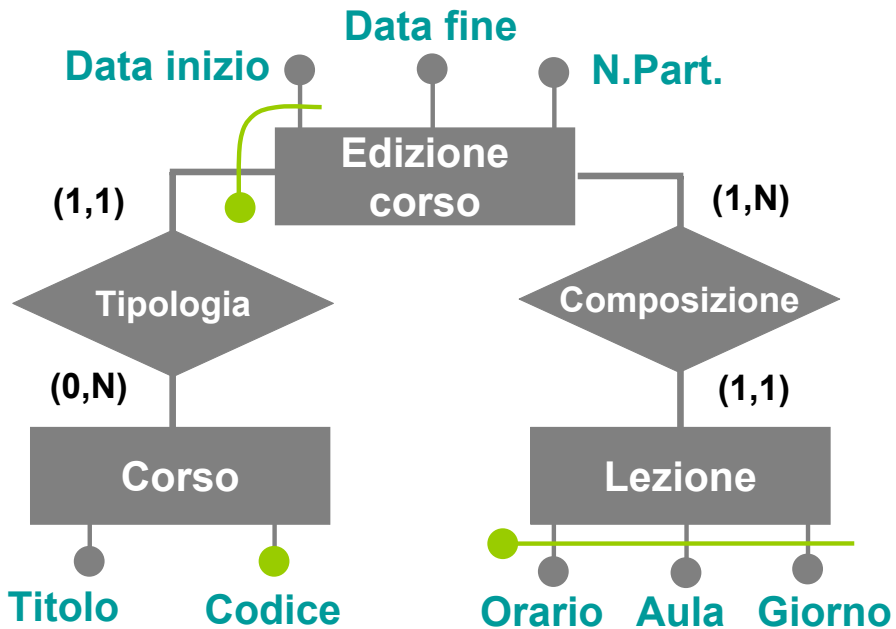
Per i docenti (circa 300), rappresentiamo il cognome, l'età, la città di nascita, tutti i numeri di telefono, il titolo del corso che insegnano, di quelli che hanno insegnato nel passato e di quelli che possono insegnare. I docenti possono essere dipendenti interni della società di formazione o collaboratori esterni.

Raffinamento schema



Frasi relative ai corsi

Per i corsi (circa 200), rappresentiamo il titolo e il codice, le varie edizioni con date di inizio e fine e, per ogni edizione, rappresentiamo il numero di partecipanti e il giorno della settimana, le aule e le ore dove sono tenute le lezioni.



Frase relative ai partecipanti

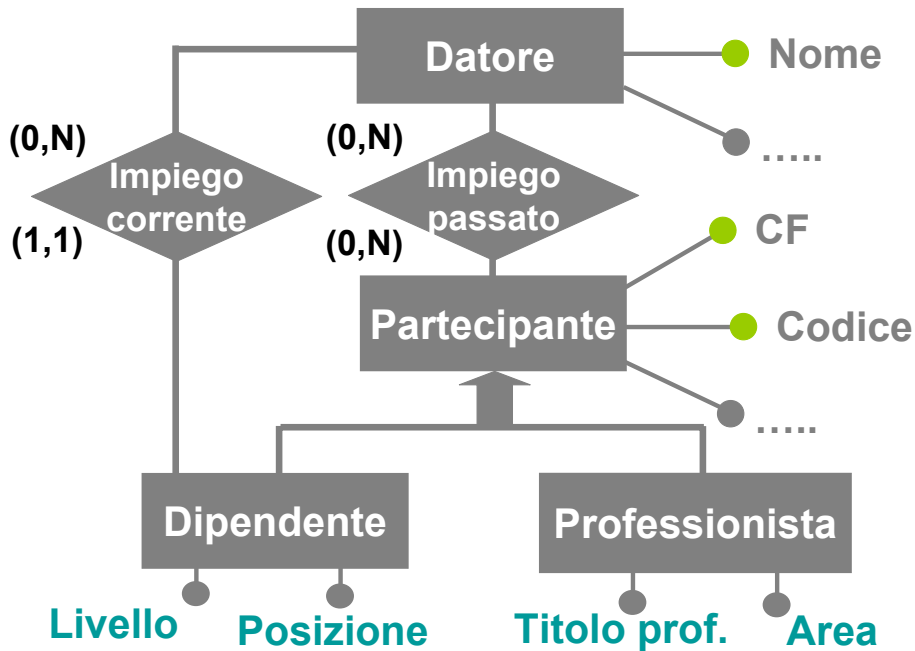
Per i partecipanti (circa 5000), identificati da un codice, rappresentiamo il codice fiscale, il cognome, l'età, il sesso, la città di nascita, i nomi dei loro attuali datori di lavoro e di quelli precedenti (insieme alle date di inizio e fine rapporto), le edizioni dei corsi che stanno attualmente frequentando e quelli che hanno frequentato nel passato, con la relativa votazione finale in decimi.

Frase relative a tipi specifici di partecipanti

Per i partecipanti che sono liberi professionisti, rappresentiamo l'area di interesse e, se lo possiedono, il titolo professionale. Per i partecipanti che sono dipendenti, rappresentiamo invece il loro livello e la posizione ricoperta.

Frase relative ai datori di lavoro dei partecipanti

Relativamente ai datori di lavoro presenti e passati dei partecipanti, rappresentiamo il nome, l'indirizzo e il numero di telefono.



Progetto (semplice, per esercizio)

- Base di dati bibliografica
- Si vogliono organizzare i dati di interesse per automatizzare la gestione dei riferimenti bibliografici, con tutte le informazioni da riportarsi in una bibliografia. Le pubblicazioni sono di due tipi, monografie (per le quali interessano editore, data e luogo di pubblicazione) e articoli su rivista (con nome della rivista, volume, numero, pagine e anno di pubblicazione); per entrambi i tipi si debbono ovviamente riportare i nomi degli autori. Per ogni pubblicazione deve esistere un codice identificativo.

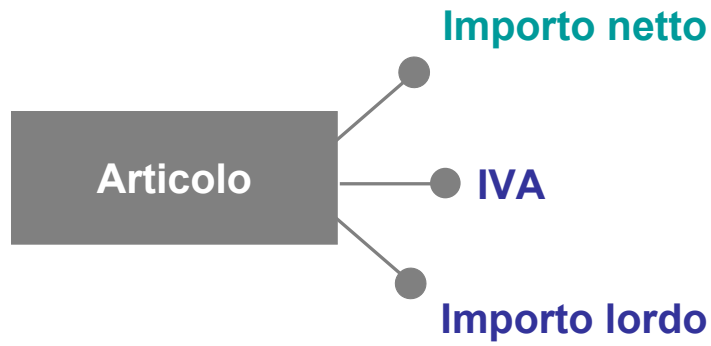
Ridondanza e Consistenza

- Uno schema è minimale quando tutte le specificazioni dei concetti sono rappresentate una sola volta nel modello; non è minimale quando esistono delle ridondanze
- Una ridondanza in uno schema E-R è una informazione significativa ma derivabile da altre:
 - duplicazione di concetti (entità o attributi) e quindi, in definitiva, duplicazione di informazioni nel database
 - concetti (attributi) che possono essere derivati da altri, di solito attraverso funzioni di aggregazione (somma, conteggio, ...)
 - associazione derivabile dalla composizione di altre associazioni presenti
- In presenza di forme di ridondanza nel modello, si pone il problema del mantenimento della coerenza interna (*consistency*) della base di dati, tra informazioni duplicate, e di quelle derivabili da altre
- Problematica della ridondanza: ogni forma di ridondanza nella base di dati è una possibile fonte di incoerenza
- Si tratta di un problema concettuale, che ha un impatto di estrema importanza sulla gestione operativa del database

Ridondanza e Consistenza

- Problematiche operative collegate alla presenza di ridondanze nello schema del db:
 - maggiore occupazione (spreco) di memoria
 - le operazioni di aggiornamento, in particolare modifica e cancellazione, possono introdurre uno stato di incoerenza tra informazioni presenti nel database
 - alto costo di mantenimento della coerenza interna: le operazioni di aggiornamento risultano molto complesse e onerose (lente)
 - quando si modifica un dato duplicato o ridondante, occorre modificare tutte le sue occorrenze in modo coerente, cioè è necessario accedere a tutti i punti dove una stessa informazione si ripete, per mantenerle sincronizzate
 - occorre inoltre aggiornare eventuali ulteriori altri dati che dipendono dal dato modificato (es. totale fattura)
- Si può considerare l'introduzione di qualche elemento di ridondanza, valutando costi e rischi che tale scelta comporta, nei seguenti casi:
 - per ottenere una maggiore velocità di esecuzione di interrogazioni frequenti, e che altrimenti richiederebbero l'esecuzione di join e calcoli complessi
 - per avere una forma di controllo tra dati correlati (es. totale fattura)

Attributo derivabile (interno)



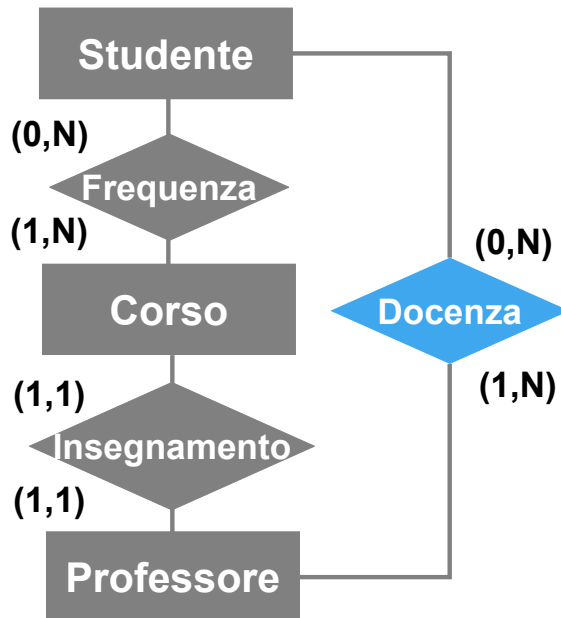
Attributo derivabile da altra entità



Attributo derivabile da altra entità



Associazione derivabile



Progetti guida per i lavori di gruppo

- Per concretizzare questi concetti teorici, caliamoci nella progettazione di un database per una specifica situazione reale:
 - ciascun gruppo sceglie un problema che costituirà il suo punto di riferimento per l'applicazione dei concetti teorici in un caso concreto
 - scelto il tema di lavoro, saremo noi stessi a definire i requisiti e le specifiche del sistema che vogliamo realizzare, prima in linguaggio naturale e poi in termini di costrutti E-R / UML
- Temi possibili:
 - Segreteria studenti università
 - Orario corsi università
 - Orario treni
 - Gestione reparto ospedaliero (ricoveri, dimissioni, ...)
 - Campionato di calcio (o quel che preferite ...)
 - Campionato di F1
 - Questionario per sondaggi demoscopici
 - Questionario per test didattici di verifica apprendimento
 - Gestione biblioteca
 - ...

Formazione dei gruppi di lavoro

- I gruppi di lavoro saranno formati di 2/3 persone
- Schema e procedimento di lavoro:
 - Analisi dei Requisiti e Glossario (linguaggio naturale):
identificazione dei Concetti da rappresentare nel modello di realtà che stiamo disegnando
 - Schema Concettuale (E-R):
rappresentare le Entità con i rispettivi Attributi
rappresentare le Relazioni con le rispettive Cardinalità (ed eventuali Attributi specifici dell'associazione)
 - Schema Logico (UML):
riprogettazione dello schema concettuale con la metodologia che stiamo per vedere, analisi delle dipendenze funzionali e Normalizzazione di ciascuna Entità-Relazione
 - Schema Fisico (Access):
implementazione fisica con il DBMS Access, creazione Tabelle, impostazione Relazioni e Integrità Referenziale, Chiavi Primarie e altri Indici
 - Applicazioni (SQL):
realizzazione di interrogazioni e di prospetti di riepilogo, a partire dai dati memorizzati nelle Tabelle del nostro database, per rispondere agli obiettivi del progetto

La progettazione logica

Il modello relazionale

La progettazione logica

- La progettazione concettuale porta ad uno schema concettuale che è qualcosa di astratto, alquanto soggettivo, e che non tiene in alcun conto degli strumenti disponibili (DBMS) per implementare il sistema e l'applicazione
- Progettazione logica:
 - ristrutturazione dello schema concettuale, operata facendo riferimento all'architettura del DBMS che si utilizza: oggi la tipologia dominante è quella detta **Relazionale**
 - traduzione dei costrutti concettuali (E-R) nei concetti "logici" introdotti con il modello relazionale: si ragiona ancora a livello logico-concettuale e non fisico
- La progettazione logica costituisce la base per l'effettiva realizzazione operativa del database (relazionale) e delle applicazioni basate su di esso
- Lo scopo della progettazione logica è ridisegnare lo schema concettuale, producendo quello che viene ora chiamato **schema logico**, attuato utilizzando concetti e formalismo introdotti dal modello relazionale
- Schema logico: rappresentazione ancora indipendente da dettagli fisici e aspetti implementativi, ma più concreta nel senso che fa riferimento alle strutture rese disponibili da un DBMS con architettura relazionale

Il modello relazionale

- **Modello relazionale:** formalizzazione di ispirazione matematica introdotta per rappresentare lo schema (logico) di un database relazionale
 - proposto da E. F. Codd nel 1970 per favorire l'indipendenza delle applicazioni di un database dall'implementazione fisica
 - fondato sul concetto di *Relazione Matematica*
 - disponibile in DBMS reali solo dal 1981: a causa della difficoltà di realizzare le soluzioni relazionali con sufficiente efficienza
- Il punto di forza di questa architettura è che ha reso le *operazioni* di accesso ai dati definitivamente indipendenti dalla *struttura* dei dati, cioè dall'implementazione fisica delle entità (-> tabelle dati) e soprattutto delle associazioni (-> collegamenti tra tabelle)
- Solo con l'introduzione del modello relazionale l'indipendenza tra il livello logico e il livello fisico risulta pienamente conseguita:
 - utenti e applicazioni del database possono fare riferimento solo al livello logico
 - le strutture descritte a livello logico sono implementate dal DBMS relazionale per mezzo di opportune strutture fisiche per la memorizzazione dei dati reali
 - per accedere ai dati non è necessario conoscere le strutture fisiche

Il modello relazionale

- **Vantaggi teorici:**
 - impostazione rigorosa: utilizza concetti matematici
 - ha permesso di definire in modo esatto concetti precedentemente vaghi: dipendenza tra informazioni, ridondanza, vincolo
 - tutti i concetti vengono ricondotti ad una logica unitaria, in modo convincente
 - anche le associazioni, costruiti di natura apparentemente diversa dalle entità, risultano (vengono ricondotte a) parte integrante dei dati naturali del problema
 - le ridondanze vengono eliminate con un processo logico, la Normalizzazione
- **Vantaggi operativi:**
 - fornisce una soluzione generale, semplice e lineare alle problematiche di disegno
 - le possibilità di collegamento tra diverse informazioni erano in precedenza basate su puntatori fisici che collegavano tra loro i record: nel modello relazionale tutti i collegamenti sono collegamenti "logici", istituiti tra dati reali
 - la progettazione (logica) non risulta più condizionata dalle operazioni di interrogazione che si devono garantire: qualunque query è comunque garantita e realizzabile mediante operazioni standard sui dati reali (algebra relazionale)
- **Difetti:**
 - minore efficienza: fino agli anni 90 l'architettura relazionale presentava ancora problemi prestazionali, e ha potuto affermarsi definitivamente solo con lo sviluppo della potenza di calcolo a basso costo avvenuta degli ultimi 15 anni

Il modello relazionale

- **Relazione:** nel modello relazionale, il termine relazione è utilizzato nella sua accezione matematica (con una piccola variante)
- In matematica, una Relazione è definita come:
sottoinsieme di un prodotto cartesiano di n insiemi

D_1, \dots, D_n (n insiemi, anche non distinti)

Prodotto Cartesiano $D_1 \times \dots \times D_n$:

insieme di tutte le n-uple (d_1, \dots, d_n) tali che $d_1 \in D_1, \dots, d_n \in D_n$

Relazione Matematica R su D_1, \dots, D_n :

un sottoinsieme dell'insieme $D_1 \times \dots \times D_n$.

D_1, \dots, D_n sono detti **Domini** della relazione R

Relazione matematica

$D1 = \{a,b\}$

$D2 = \{x,y,z\}$

prodotto cartesiano $D1 \times D2$:

a	x
a	y
a	z
b	x
b	y
b	z

una relazione $r \subseteq D1 \times D2$:

a	x
a	z
b	y

Relazione matematica, proprietà

- In pratica, una Relazione Matematica è un insieme di n-uple : (d_1, \dots, d_n)
 - (d_1, \dots, d_n) tali che $d_1 \in D_1, \dots, d_n \in D_n$
 - la posizione degli elementi (d_1, \dots, d_n) all'interno dell' n-upla è rilevante: l' i-esimo valore proviene dall' i-esimo dominio
 - fra le n-uple non c'è invece ordinamento: in un insieme, l'ordine è irrilevante
 - le n-uple sono tutte distinte: in un insieme gli elementi sono distinti
- Nella definizione matematica, l'n-upla ha cioè una struttura posizionale: ciascuno dei domini ha ruoli diversi, distinguibili attraverso la posizione all'interno dell'n-upla
- Nella definizione di Relazione nell'ambito del Modello Relazionale, invece, a ciascun dominio si associa un nome (**attributo**), che ne descrive il ruolo

Relazione matematica, esempio

- Nella Relazione Matematica, ciascuno dei domini ha ruoli diversi, distinguibili attraverso la posizione all'interno dell'n-upla: se cambiamo l'ordine degli elementi, cambia completamente il significato
- ▾ La struttura dell'n-upla è **posizionale**

Partite \subseteq *string* \times *string* \times *int* \times *int*

Juve	Lazio	3	1
Lazio	Milan	2	0
Juve	Roma	0	2
Roma	Milan	0	1

Il modello relazionale

- Nell'ambito del Modello Relazionale, a ciascun dominio si associa un nome, che ne descrive il ruolo: la posizione dell'attributo all'interno dell'n-upla diventa quindi irrilevante
- ▾ Secondo quest'ultima definizione, una relazione ha una struttura non **posizionale**

Casa	Fuori	RetiCasa	RetiFuori
Juve	Lazio	3	1
Lazio	Milan	2	0
Juve	Roma	0	2
Roma	Milan	0	1

Il modello relazionale

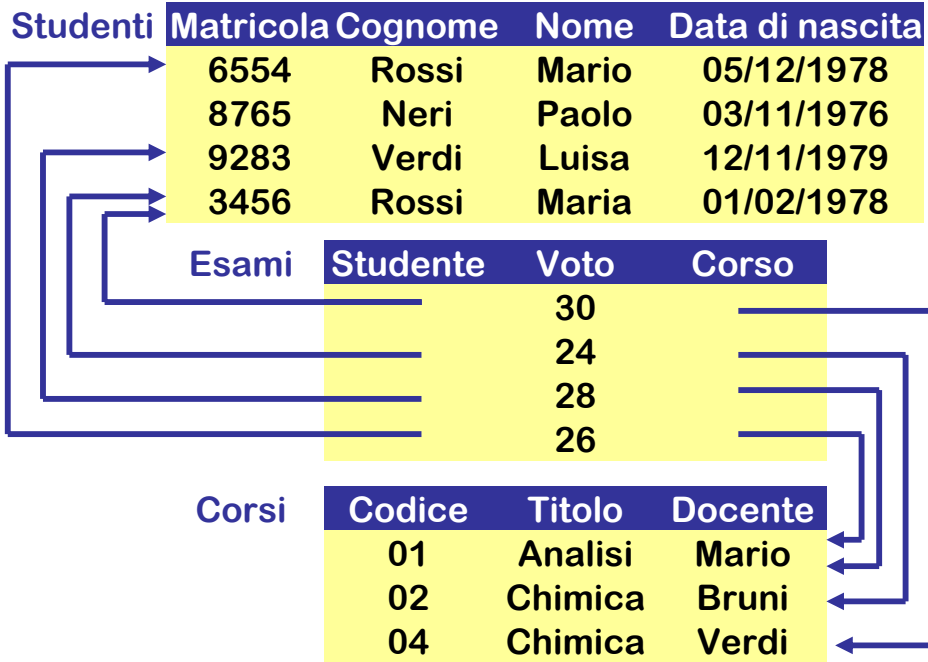
- Relazione: tre diverse accezioni del termine
 - **Relazione** (dall'inglese **Relationship**) nel modello Entity-Relationship: tradotta anche con **Associazione** (o correlazione o connessione o collegamento)
 - **Relazione Matematica** (dalla teoria degli insiemi): sottoinsieme di un prodotto cartesiano tra insiemi
 - **Relazione** secondo il Modello Relazionale: insieme di n-uple costituite di attributi con riferimento nominale (e non posizionale)

Il modello relazionale

- Il concetto di Relazione permette di formalizzare in modo estremamente interessante il concetto informatico di "archivio"
- Una relazione ha una naturale rappresentazione per mezzo di una tabella:
 - le righe rappresentano in modo del tutto naturale le n-uple, cioè gli elementi dell'insieme (i record dell'archivio)
 - le colonne rappresentano gli attributi (i campi del record)
- Una tabella rappresenta una Relazione se:
 - i valori di ogni colonna sono fra loro omogenei
 - le intestazioni delle colonne sono diverse tra loro
 - le righe sono diverse fra loro (nessun elemento dovrebbe comparire più volte)
- In una tabella che rappresenta una relazione :
 - l'ordinamento delle righe è irrilevante
 - l'ordinamento (la posizione) delle colonne è irrilevante
- Si ha una equivalenza sostanziale tra :
 - relazione, entità, tabella, archivio
 - n-upla di una relazione, elemento di una entità, riga di una tabella, record di un archivio
 - attributi, colonne della tabella, campi del record

Il modello relazionale

- Il modello relazionale è basato esclusivamente su valori:
 - nelle strutture dati non vengono introdotti puntatori fisici diretti tra record, come nei precedenti modelli (reticolare e gerarchico) basati su "record e puntatori"
 - i collegamenti tra relazioni (entità) diverse sono realizzati esclusivamente per mezzo dei valori degli attributi corrispondenti tra relazioni correlate: i collegamenti sono *logici* (per questo si dice anche che usa "puntatori logici")
- Vantaggi della struttura basata su valori
 - indipendenza del modello da strutture e dettagli di implementazione fisici
 - i puntatori sono direzionali, mentre i collegamenti logici istituiti tra informazioni corrispondenti sono bidirezionali
 - nel modello è rappresentata solo l'informazione reale utile per la descrizione del "mondo": i puntatori fisici erano dati aggiuntivi fittizi, legati ad aspetti realizzativi, e non significativi per il problema
 - i dati sono più facilmente esportabili da un sistema (DBMS) ad un altro: proprio per l'assenza di elementi estranei legati all'implementazione fisica, che sono diversi da un sistema all'altro



Studenti	Matricola	Cognome	Nome	Data di nascita
	6554	Rossi	Mario	05/12/1978
	8765	Neri	Paolo	03/11/1976
	9283	Verdi	Luisa	12/11/1979
	3456	Rossi	Maria	01/02/1978

Esami	Studente	Voto	Corso
	3456	30	04
	3456	24	02
	9283	28	01
	6554	26	01

Corsi	Codice	Titolo	Docente
	01	Analisi	Mario
	02	Chimica	Bruni
	04	Chimica	Verdi

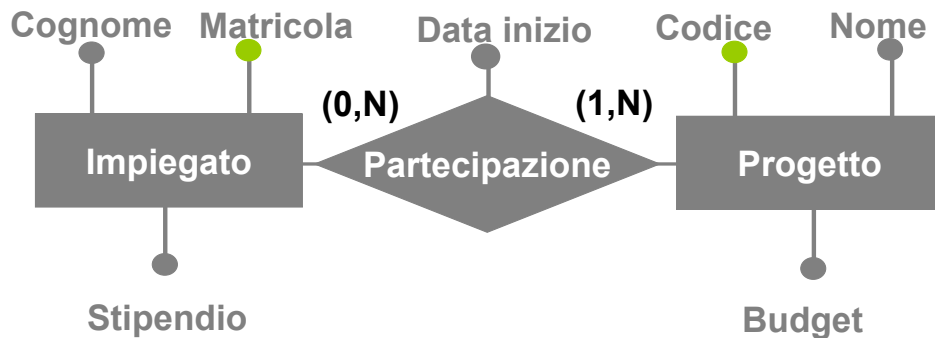
Progettazione Logica

- Traduzione dello schema concettuale (E-R) nello schema "logico" relazionale:
 - Traduzione base: costrutti E-R (entità e associazioni) vengono tradotti in costrutti del modello relazionale (relazioni)
 - Raffinamento dello schema: analisi dipendenze funzionali e *Normalizzazione*
- Normalizzazione
 - procedimento formalizzato, assistito da una elegante teoria di derivazione matematica, che guida l'ottimizzazione del modello
 - permette di eliminare in modo rigoroso ed oggettivo tutte le fonti di ridondanza presenti nel modello
 - il procedimento prevede di passare gradualmente dallo stato iniziale a stati normalizzati ("forme normali"):
1 FN → 2 FN → 3 FN → BC FN

Traduzione da modello E-R a Relazionale

- Ciascuna **entità** diventa una **relazione**
- Ciascuna **associazione (n:m)** diventa una **relazione**
- Le **associazioni (1:n)** vengono tradotte più semplicemente, tramite inclusione della chiave primaria della entità-relazione (lato 1) come attributo nella entità-relazione correlata (lato n), creando un **collegamento logico** tra le due entità
- Dunque nel modello relazionale, il concetto di Relazione permette di unificare i concetti di Entità e di Associazione (Relationship) del modello E-R, in un più ampio e ben definito concetto

Traduzione di una associazione molti a molti



Impiegato(Matricola, Cognome, Stipendio)

Progetto(Codice, Nome, Budget)

Partecipazione(Matricola, Codice, DataInizio)

La Normalizzazione

■ Le dipendenze funzionali

- Intuitivamente tutti abbiamo un'idea di cosa significa che una informazione dipende da un'altra:
 - a volte questa dipendenza è determinata da una regola precisa (calcolo):
es. Prezzo bistecca = Peso * Prezzo al kg
 - altre volte non è così ben determinata, ma c'è una relazione tra le due cose:
es. NomeImpiegato → Stipendio
il valore dell'attributo NomeImpiegato *determina* il valore del suo Stipendio
- In matematica si chiama funzione (o dipendenza funzionale) una relazione tra due classi X e Y indicata con:

$$X \rightarrow Y$$

Y si dice *funzione* di X, o *funzionalmente dipendente* da X

se per ogni coppia di elementi uguali di X : $x_1 = x_2$

gli elementi corrispondenti di Y sono anch'essi uguali: $y_1 = y_2$

- Ora pensiamo X e Y come due parti, cioè due sottoinsiemi di attributi, di una relazione Z : un gruppo di (uno o più) attributi può dipendere funzionalmente da un altro gruppo di (uno o più) attributi

La Normalizzazione

- Tutte le relazioni possono essere suddivise in due parti:
 - alcuni attributi (eventualmente tutti) formano la *parte unica* della relazione:
 - non vi sono ripetizioni fra le combinazioni dei loro valori
 - nessuno di questi attributi dipende dai rimanenti
 - gli altri attributi dipendono funzionalmente da quelli della parte unica

- Un insieme di attributi che forma la parte unica della relazione, e che perciò individua univocamente ogni n-upla, si dice una chiave (primaria) candidata
 - possono esistere più insiemi di attributi che identificano univocamente l'n-upla: (Nome, Cognome, LuogoNascita, DataNascita, CodiceFiscale, Altezza, Peso, SegnoZodiacale)
 - ne scegliamo una, che verrà detta chiave primaria, e si indicherà nello schema logico mediante sottolineatura

La Normalizzazione

- La teoria della Normalizzazione è centrale nel modello relazionale:
 - formalizza il concetto di ridondanza dei dati, fornendo un preciso criterio di minimalità nella rappresentazione delle informazioni
 - guida il processo per arrivare alla struttura logica migliore possibile (ottimale)
 - tutto il processo si basa sui concetti di dipendenza funzionale e di chiave primaria

- Nella teoria della normalizzazione si definiscono (almeno) 4 stati in cui una relazione può trovarsi, dette forme normali:

1FN, 2FN, 3FN, e BCNF

- Quando una relazione non è in una forma normale, deve essere normalizzata:
 - in pratica deve essere decomposta sulla base delle dipendenze funzionali, al fine di separare i concetti, in relazioni più piccole, tra loro correlate
 - decomposizione senza perdita di informazione: dalle relazioni decomposte si deve poter ricostruire la relazione di partenza (mediante operazioni di JOIN)

- Se una relazione è in una data forma normale (es. BCNF oppure 3NF) è garantito che certi tipi di problemi sono evitati o minimizzati: sapere in che forma normale è una relazione ci aiuta a decidere se decomporla ulteriormente sia necessario o utile

La Normalizzazione

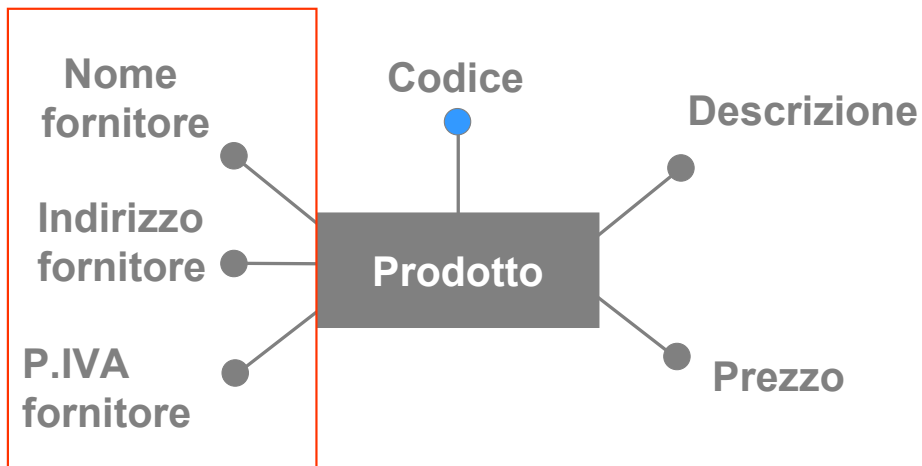
- La prima forma normale: 1FN
- Una relazione è in 1FN se ogni attributo contiene solo valori atomici, e non insiemi o liste di valori
Es: SquadraCalcio (Nome, Sede, Presidente, Allenatore, ElencoGiocatori)
- La 1FN non ammette gli attributi complessi, che concettualmente rappresentano concetti indipendenti
 - > la relazione deve essere decomposta:
 - se l'attributo in questione non fa parte della chiave primaria, può essere eliminato dalla relazione di partenza e costituire una nuova relazione
 - nella nuova relazione viene riportata anche la chiave primaria della relazione di partenza:
SquadraCalcio (Nome, Sede, Presidente, Allenatore)
Giocatore (Tessera, Nome, Cognome, DataNascita, Ruolo, NomeSquadra)
 - l'inserimento della chiave primaria NomeSquadra nella relazione Giocatore crea un collegamento logico tra le due entità, cioè istituisce l'associazione (1:n) che la dipendenza funzionale esprimeva
- Tutte le relazioni devono essere almeno normalizzate in 1FN:
con il passaggio a 1NF si introducono associazioni (1:n) tra le relazioni

La Normalizzazione

- La seconda forma normale: 2FN
- Una relazione è in 2FN se nessun attributo dipende funzionalmente da solo alcuni degli attributi che costituiscono la chiave primaria
- Ciascun attributo deve cioè dipendere dall'intera chiave primaria, da tutti gli attributi della chiave in blocco
- La 2FN non ammette le dipendenze parziali dalla chiave primaria
 - > la relazione deve essere decomposta:
Persona(Nome, LuogoNascita, AnnoN, MeseN, GiornoN, Altezza, Peso, SegnoZodiacale)
 - SegnoZodiacale non dipende funzionalmente da tutti gli attributi della chiave, ma solo da MeseN e GiornoN
 - in effetti questo determina una ridondanza: lo stesso segno zodiacale sarà ripetuto ogni volta che due persone sono nate lo stesso giorno e mese
 - l'attributo SegnoZodiacale può essere eliminato dalla relazione, e costituire una nuova relazione
Persona (Nome, LuogoNascita, AnnoN, MeseN, GiornoN, Altezza, Peso)
SegnoZodiacale (Mese, Giorno, Segno)
 - anche in questo caso risulta istituita una associazione (1:n) tra le due relazioni

La Normalizzazione

- La terza forma normale: 3FN
 - Una relazione è in 3FN se nessun attributo dipende funzionalmente da altri attributi della relazione (che non siano la chiave primaria):
 - una relazione che non si trova in 3FN contiene una ridondanza analoga alla precedente, l'unica differenza è che la dipendenza parziale interna alla relazione non coinvolge la chiave, ma altri attributi
 - considerato che tali attributi a loro volta dipendono evidentemente dalla chiave, questo tipo di dipendenza prende il nome di *dipendenza transitiva*
 - La 3FN non ammette le dipendenze transitive
 - > la relazione deve essere decomposta
- Persona(CF, Nome, LuogoN, AnnoN, MeseN, GiornoN, Altezza, Peso, SegnoZodiacale)
- SegnoZodiacale non dipende funzionalmente dalla chiave CF, ma solo da MeseN e GiornoN: ma la ridondanza presente nella relazione è intuitivamente la stessa del caso precedente
 - in modo del tutto analogo al precedente, l'attributo SegnoZodiacale può essere eliminato dalla relazione, e costituire una nuova relazione:
 - Persona (CF, Nome, LuogoNascita, AnnoN, MeseN, GiornoN, Altezza, Peso)
 - SegnoZodiacale (Mese, Giorno, Segno)
 - anche in questo caso risulta istituita una associazione (1:n) tra le due relazioni



PartitaIVA → NomeFornitore, Indirizzo

Prodotto(Codice, Descrizione, Prezzo, PIVAFornitore)
Fornitore(PIVA, Nome, Indirizzo)

La Normalizzazione

- La forma normale di Boyce-Codd: BCFN
- Una relazione R è in forma normale di Boyce-Codd se, per ogni dipendenza funzionale (non banale) $X \rightarrow Y$ definita su di essa, X contiene una chiave K di R
 - in pratica: ciascun attributo deve dipendere dalla chiave, tutta la chiave, e nient'altro che la chiave
 - la forma normale BCFN richiede che i concetti in una relazione siano omogenei, nel senso che devono esserci solo attributi direttamente associati alla chiave
 - se una relazione rappresenta più concetti indipendenti, va decomposta in relazioni più piccole, una per ogni concetto
- Questa forma normale è la più restrittiva, e comprende tutte le precedenti, ma non è sempre ottenibile senza perdita di informazione
- Per i nostri scopi possiamo fermarci qui ...

La Normalizzazione

- Le associazioni (n:m) nel modello relazionale
- Esempio. Supponiamo di aver definito come punto di partenza della nostra analisi ed astrazione della realtà di nostro interesse la relazione Insegna:

Insegna = (IDProf, NomeProf, IndirizzoProf, Classe, NomeScuola,
IndirizzoScuola, Preside, NumeroOre)
- E' in 1FN ? Tutti gli attributi sono atomici quindi 1FN ok.
- E' in 2FN ? Analizzando le dipendenze funzionali scopriamo che:

IDProf \rightarrow NomeProf, IndirizzoProf
NomeScuola \rightarrow IndirizzoScuola, Preside

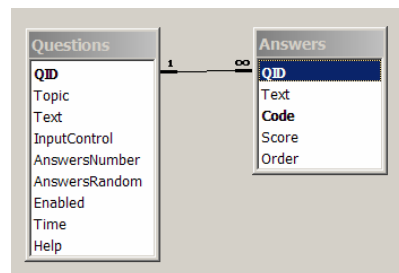
E' necessario un (doppio) passaggio a 2FN:
Insegnante = (IDProf, NomeProf, IndirizzoProf)
Scuola = (NomeScuola, IndirizzoScuola, Preside)
Insegna = (IDProf, Classe, NomeScuola, NumeroOre)
- La relazione risultante Insegna istituisce un collegamento tra le relazioni Insegnante e Scuola: l'associazione (n:m) tra Insegnante e Scuola risulta identificata e risolta in modo naturale, come conseguenza logica della normalizzazione

La Normalizzazione

- Il processo di normalizzazione permette di raggiungere con un procedimento logico e non soggettivo alcuni importanti risultati:
 - eliminazione delle ridondanze: è ora chiaro che le ridondanze sorgono quando esistono dipendenze funzionali non banali interne alle relazioni
 - creazione di associazioni (1:n): risultano implicitamente dai passaggi in 1-2-3FN, e sono realizzate riportando le chiavi primarie nelle relazioni correlate, come puntatori logici
 - le associazioni (n:m) vengono risolte in relazioni, connesse logicamente da relazioni (1:n) ad altre relazioni, in modo naturale e automatico, come conseguenza del passaggio in 2-3FN
- Per eliminare ulteriori ridondanze:
 - qualsiasi relazione esprimibile con una formula può essere sostituita con una procedura di calcolo (formula, vincolo), invece che con una relazione (es. ritorniamo al nostro esempio del segno zodiacale)

Integrità referenziale

- L'integrità referenziale è un vincolo che rinforza la relazione logica tra due tabelle correlate tra loro da un insieme di attributi X, per impedire modifiche non consistenti delle informazioni correlate
- L'integrità referenziale si applica ad una associazione (1:n) e prevede che i valori degli attributi X di ciascuna n-upla di R2 devono essere rappresentati nella relazione R1, dove costituiscono la chiave primaria
- In pratica, supponiamo di avere una relazione (1:n) tra le tabelle seguenti:
- la relazione R1 sul lato 1 della associazione ha come chiave primaria l'attributo QID
- la tabella R2 sul lato n non può contenere record (n-uple) non correlati, cioè con un QID non presente nella tabella R1
- E' possibile rinforzare ulteriormente l'integrità referenziale, impostando delle regole di sincronizzazione, che vengono attivate dalla modifica di un dato in R1:
 - aggiornamento a cascata dei record correlati in R2 su modifica di QID in R1
 - cancellazione a cascata dei record correlati in R2 su cancellazione di un record in R1



JOIN e UNION

- Il JOIN è una operazione fondamentale in un database relazionale per ricostruire l'informazione complessiva a partire dalle relazioni normalizzate
- Le informazioni sono fisicamente organizzate in diverse tabelle, logicamente correlate sulla base dei valori di uno o più attributi presenti in entrambe: per rispondere a determinate domande è necessario (ri)mettere insieme le informazioni di più tabelle
- Ci sono diversi possibili modi di unire i dati di due tabelle...
- UNION:
 - nuova relazione costituita dall'insieme delle n-uple delle due relazioni che vengono unite: è una unione tra insiemi ($A \cup B$)
 - le tabelle vengono unite nel senso delle colonne: l'operazione ha senso per tabelle con la stessa struttura, cioè che contengono gli stessi campi.
- JOIN:
 - fusione tra le n-uple di due relazioni logicamente correlate (es. 1:1 o 1:n)
 - le tabelle vengono unite nel senso delle righe: la riga risultante è costituita dai campi della prima tabella + quelli della seconda tabella
 - Come si mettono in corrispondenza le righe delle due tabelle?

JOIN

- Join interno (Inner join):
 - il matching avviene sulla base dell'uguaglianza tra i valori di uno o più campi delle due tabelle: vengono appaiate e unite le righe che soddisfano tale condizione
 - solo i record presenti in entrambe le tabelle vengono inclusi nel risultato
 - Join "naturale": correla i dati di due relazioni sulla base dei valori assunti da tutti gli attributi con lo stesso nome
- Join esterno (Outer join):
 - Left join: tutte le righe della tabella a sx vengono comunque incluse nel risultato, anche se non hanno righe correlate nella tabella a dx
 - Right join: tutte le righe della tabella a dx vengono comunque incluse
 - Outer join: esterno su entrambi i lati
- Prodotto cartesiano:
 - prodotto tra insiemi ($A \times B$), contiene le n-uple ottenute combinando in tutti i modi possibili le n-uple dei due insiemi: operazione molto onerosa computazionalmente, genera un insieme di ($n \times m$) elementi
 - Theta join: prodotto cartesiano seguito da una selezione, che conserva solo le n-uple di interesse descritte da una condizione booleana (qualsiasi)
 - Equi-join: caso particolare del precedente, in cui la selezione avviene su una condizione di uguaglianza tra un attributo di una tabella e uno dell'altra

La progettazione fisica

Implementazione con MS Access

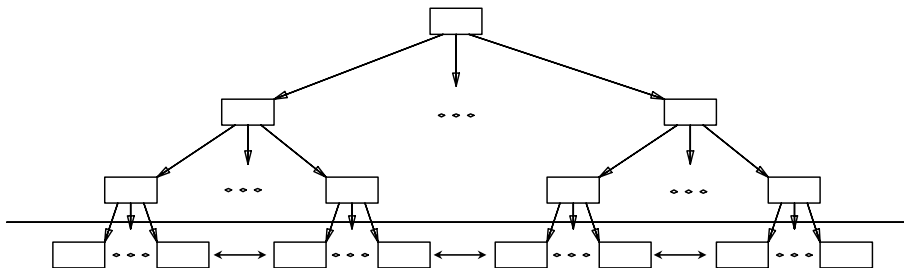
Progettazione Fisica

- Implementazione fisica della base di dati utilizzando un DBMS reale:
 - specificazione dei parametri fisici di memorizzazione dei dati: tipo e dimensione di ciascun campo (o attributo) per ciascuna tabella (o entità)
 - definizione di strutture accessorie per rendere più efficiente l'accesso a particolari informazioni: gli indici, detti anche chiavi secondarie (la chiave primaria è usualmente indicizzata automaticamente dal sistema)
- I tipi di dati disponibili dipendono dal DBMS, vediamo quelli supportati dal motore Jet (e quindi da Access):
 - Byte (1 byte), Integer (2 bytes), Long (4 bytes)
 - Single precision (4 bytes), Double precision (8 bytes), Decimal (12 bytes=28 cifre decimali)
 - Currency (strano tipo numerico decimale per le valute [\$,£,€]: formato 15.4)
 - Text (1 - 255 caratteri)
 - Memo (testo illimitato, non indicizzabile)
 - DateTime (data e ora)
 - Si/No (booleano ovvero True/False)
 - ...

Gli Indici

- Gli indici sono strutture dati ausiliarie che permettono di rendere più efficiente e veloce l'accesso alle righe (record) di una tabella
- Un indice è una struttura dati che consente l'accesso diretto ai record di una tabella in base ai valori di uno o più attributi:
 - l'indice velocizza le operazioni di ricerca, selezione, join e ordinamento
 - per ciascuna tabella si possono definire più indici
 - ciascun indice può essere composto da uno o più campi
- Un indice è costituito da:
 - un dizionario per l'attributo (o gli attributi) dell'indice: è l'elenco di tutti i valori distinti assunti dall'attributo nella tabella
 - una lista ("invertita") per ogni voce del dizionario, di puntatori diretti (fisici) a tutti i record individuati nella tabella che presentano tale valore dell'indice
 - si tratta in sostanza di un indice analitico, analogo a quello di un libro che ci fornisce l'elenco delle pagine dove compare ciascun termine
 - il dizionario viene mantenuto ordinato dal DBMS, per mezzo di algoritmi informatici sofisticati (ad es. basati su hash o su alberi binari), che permettono di eseguire ricerche molto più veloci di quelle sequenziali

Indici ad Albero (binario)




- La struttura ad albero binario permette di mantenere un ordinamento dei dati in modo "naturale" ed efficiente:
 - tempi medi di ricerca logaritmici rispetto al numero dei dati ($\log_2 n$)
 - l'inserimento di nuovi dati risulta veloce
 - la modifica e la cancellazione dei dati possono invece richiedere di ricostruire almeno parzialmente l'albero e risultare quindi penalizzate

Gli Indici

- Gli indici velocizzano drasticamente le operazioni di accesso, ma rallentano quelle di aggiornamento (inserimento, modifica e cancellazione)
- E' consigliabile impostare un indice per gli attributi che:
 - sono chiave primaria di una relazione (impostazione automatica in Access)
 - sono oggetto di frequenti selezioni e ricerche (SELECT ... WHERE ...)
 - costituiscono collegamenti logici tra tabelle, e quindi rappresentano le informazioni chiave nelle operazioni di JOIN di tabelle correlate (ON ...)
 - sono oggetto di ordinamento (ORDER BY ...): per ottenere un ordinamento degli elementi, non essendo definito un ordinamento fisico dei record nelle tabelle
 - individuano categorie utilizzate in operazioni di aggregazione (GROUP BY ...)
- In assenza di opportuni indici, tutte queste operazioni possono avvenire solo mediante scansione sequenziale dei record delle tabelle implicate, richiedendo conseguentemente tempi di esecuzione proporzionali alle dimensioni delle tabelle
- Il motore Jet supporta i seguenti tipi di indice :
 - **Univoco**: non ammette valori duplicati (vincolo che previene l'inserimento di valori duplicati nei campi indicizzati)
 - **Ignora Null**: i record contenenti valori Null nei campi dell'indice non vengono inclusi nell'indice
 - **Primario**: univoco e non ammette valori Null; definisce la primary key della tabella, quindi è possibile avere solo un indice Primario per tabella.

Stampa delle Relazioni

- Per stampare le Relazioni di un database di Microsoft Access, così come compaiono nella finestra Relazioni:
 - Aprire il database Access
 - Aprire la finestra **Relazioni**, dal menu **Strumenti** o clickando sull'icona  della Toolbar
 - Disporre graficamente le Tabelle in modo che le connessioni tra le Tabelle risultino lineari e comprensibili, e avendo cura di dimensionare i rettangoli in modo da visualizzare tutti i campi
 - Sul menu **File**, scegliere la funzione **Stampa Relazioni**

Stampa degli oggetti del database

- Per stampare le caratteristiche di un oggetto fisico creato in un database Access (ad es. una Tabella) si può utilizzare la funzione **Analizzatore**:
 - Dal menu **Strumenti**, scegliere **Analizza** e quindi **Analizzatore**
 - Clickare sulla scheda corrispondente al tipo di oggetto del database che si desidera visualizzare o stampare (ad es. Tabelle)
 - Selezionare gli oggetti dei quali si desidera visualizzare o stampare la definizione
 - Scegliere il pulsante **Opzioni** e specificare quali caratteristiche degli oggetti selezionati si desiderano stampare: per stampare la struttura fisica delle Tabelle per la relazione da presentare all'esame, impostare le seguenti Opzioni:
 - per le Tabelle includere: **NIENTE** (togliere tutti e tre i checkbox)
 - per i Campi includere: **SOLO**: Nomi, Tipi di Dati e Dimensioni
 - per gli Indici includere: **Nomi, Campi e Proprietà**
 Clickare sul bottone **OK** per confermare e chiudere le Opzioni.
 - Clickare infine sul bottone **OK** della finestra Analizzatore: a questo punto viene visualizzata una anteprima del report generato dall'Analizzatore ed è possibile:
 - modificare le impostazioni di stampa: pulsante **Imposta Pagina**
 - stampare il report: pulsante **Stampa**
 - oppure salvare il report in un file: scegliere **Esporta** sul menu **File**, quindi nella finestra di dialogo **Esporta Report** specificare il Nome del file ed il **Tipo** cioè il formato desiderato (ad es. RTF, per poi importare il file in Word).

