

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA



CORSO DI DISEGNO ASSISTITO DA CALCOLATORE I

MODELLAZIONE DIFFERENZIALE TRATTORE FIAT

Chiar.mo Prof. F. Mandorli

Nome Autore
Angeloni Filippo 1012828
Giuliani Pietro 1012703

IL PRODOTTO

Il componente meccanico che abbiamo deciso di modellare è il differenziale di un veicolo agricolo FIAT.

Il differenziale, com'è noto dalla meccanica, è un dispositivo che permette alle ruote motrici di un veicolo di acquisire velocità di rotazione diverse l'una dall'altra, ripartendo la coppia motrice a seconda degli slittamenti relativi. E' un particolare tipo di rotismo epicicloidale realizzato tramite l'accoppiamento di ingranaggi conici a denti dritti; il momento torcente viene trasmesso ad una corona fissata sulla scatola del differenziale (che funge da portatreno), la quale contiene due satelliti e due planetari.

I satelliti sono vincolati a ruotare assieme al portatreno, che riceve il moto dal motore, e nelle condizioni di non slittamento trascinano i planetari; su questi sono calettati i semiassi che trasmettono infine la rotazione alle ruote del veicolo.

I satelliti (potendo ruotare attorno al proprio asse) permettono ai planetari, e dunque alle ruote, di ruotare con velocità angolari differenti, nelle situazioni in cui vi sono costretti (in curva o a causa di slittamento).

Nei differenziali dei veicoli agricoli solitamente è presente un dispositivo di bloccaggio, che permette di arrestare uno dei due planetari annullando così la funzione del differenziale; questo viene azionato quando c'è la necessità di aumentare la presa sul terreno, ad esempio nel caso in cui una delle due ruote rimanga impantanata.

Ci siamo procurati tale componente da un agricoltore della nostra zona, per avere un modello reale di ciò che andavamo a realizzare; in particolare abbiamo recuperato:

- la scatola del differenziale, al cui interno si trova il rotismo vero e proprio; esso funge da portatreno;
- i due satelliti con relative bronzine (che limitano l'usura e le temperature dovute agli attriti di strisciamento);
- i due planetari con i rispettivi anelli distanziali;
- due cuscinetti a rulli conici che devono sostenere la scatola permettendone la rotazione;
- il dispositivo di bloccaggio.



MOTIVAZIONI E STRATEGIA DI MODELLAZIONE

Nella realizzazione del modello abbiamo seguito un certo percorso, focalizzando il lavoro su 4 aspetti, che non sempre si trovavano in accordo tra loro:

- la riproduzione dei vari componenti il più possibile realistica e visivamente fedele alla realtà, curando una rappresentazione dettagliata di ogni parte (forme, dimensioni, superfici, colori...) al fine di un'esposizione su catalogo esteticamente gradevole;
- il rispetto delle regole e relazioni del disegno meccanico, in particolare quelle che riguardano la costruzione e l'ingranamento delle ruote dentate, facendo uso delle funzionalità della tabella variabili, per una corretta produzione delle tavole tecniche ;
- la potenzialità (del modello delle ruote dentate) alla modifica in base alla scelta di diversi valori di modulo e numero di denti, affinché esso potesse adattarsi a diversi tipi di accoppiamento; ciò è stato realizzato legando tra loro, attraverso la tabella variabili, tutti i parametri fondamentali e assegnando adeguatamente i vincoli e le relazioni del disegno;
- la creazione di un meccanismo cinematicamente corretto, che possa essere eventualmente utilizzato in un software di simulazione fisico-cinematica realistica, tenendo conto delle regole di progetto e realizzando il profilo dei denti secondo l'evolvente di cerchio.

IMPOSTAZIONE INIZIALE DEL LAVORO

Abbiamo cominciato prendendo le misure, inevitabilmente approssimate, delle dimensioni principali di ciascun componente, modellandone una prima bozza approssimativa; col proseguire del lavoro ci siamo resi conto che le grandezze caratteristiche delle ruote (conicità, angoli principali, diametri,...) si discostavano da quelle calcolate con le formule di progetto.

A titolo di esempio, per la determinazione del modulo si ha:

$$m = d_1/z_1 = d_2/z_2 ; \text{ dove } d \text{ è il diametro primitivo e } z \text{ il numero di denti.}$$

Il valore di **m** calcolato empiricamente risultava circa **4.3** da cui abbiamo scelto il valore normato **m = 4.5**

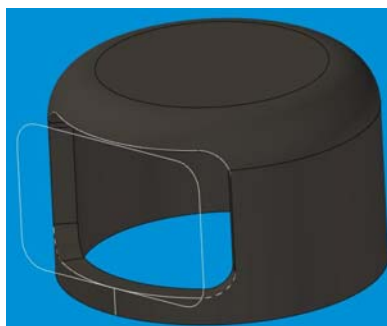
A partire da questo valore abbiamo calcolato tutte le grandezze principali e determinato gli elementi caratteristici del rotismo e degli ingranaggi.

Di conseguenza ci siamo discostati dai valori misurati e abbiamo modificato parte delle quote e delle lavorazioni già svolte sui modelli adattandole a questa nuova strategia più rigorosa.

PORTATRENO

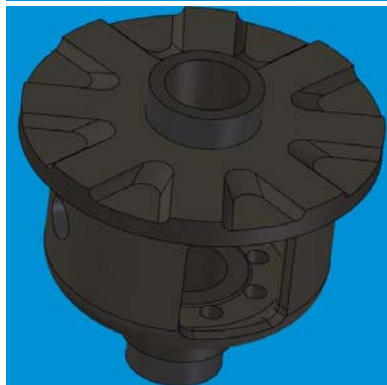
E' stato riprodotto secondo la reale geometria del pezzo; questo presenta una forma laboriosa, essendo ottenuto per fusione, e per la sua modellazione sono stati eseguiti molti passaggi, lavorazioni e rifiniture.

Per realizzare le varie aperture e particolari superfici sono stati usati i comandi "Proietta Curva" e "Superficie per Contorno".



Proietta Curva

Superficie Per Contorno

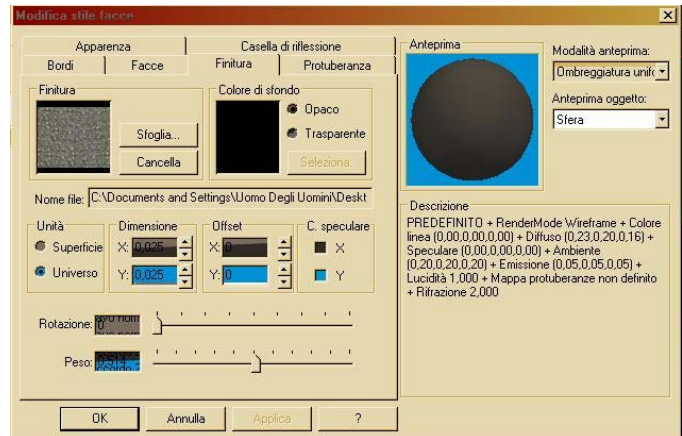


A titolo di esempio, per la particolare forma degli scavi sulla parte inferiore, si è creato dapprima uno schizzo tangente la parete laterale e poi la proiezione dello stesso; poi sono stati creati schizzi, piani di riferimento e superfici per le linee guida del successivo "Scavo di Loft". Infine, con una semplice "Campitura" è stato riprodotto lo scavo su tutta la circonferenza.

Per riprodurre al meglio il logo "FIAT" è stato eseguito lo schizzo su di un altro file, per non appesantire troppo il disegno, e poi copiato sulla cassa. Su tale schizzo sono state eseguiti gli scavi e i raccordi per renderlo tridimensionale.



Infine abbiamo fotografato un ingrandimento della superficie del pezzo e abbiamo caricato la texture nel menù “Stile Faccia e Riempimento” della tabella dei materiali.



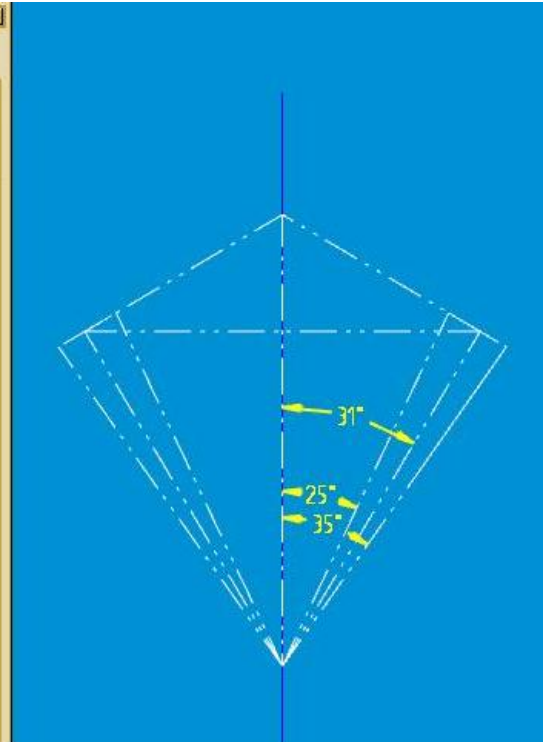
Anche se le prospettive risultano leggermente diverse, il lavoro finito risulta molto simile alla realtà.



INGRANAGGI

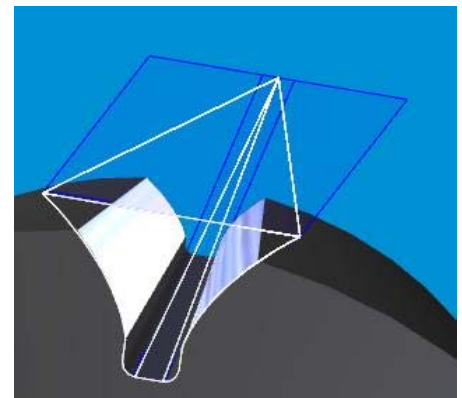
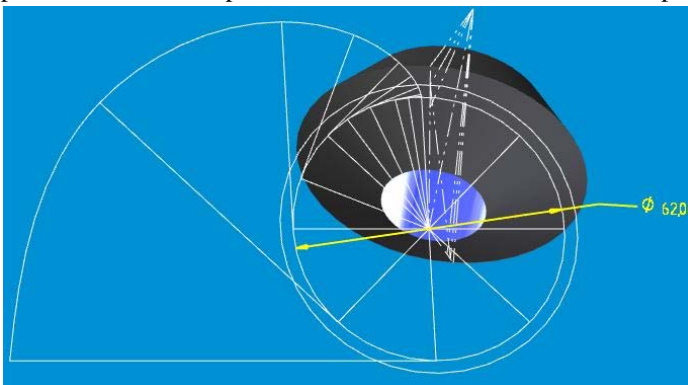
Abbiamo iniziato dal satellite, più semplice rispetto alle altre ruote creando uno schizzo rappresentante i coni di testa, primitivo e di piede, e i coni complementari, usando la tabella delle variabili per determinare i valori di ciascuna quota secondo norma. Un primo problema riscontrato è dato dal fatto che i calcoli trigonometrici (arcotangenti, ecc...) davano risultati in radianti, ma lo stesso valore veniva letto dalla quota come valore in gradi. Per bypassare ciò si è aggiunta un'ulteriore riga nella tabella con la formula di conversione da radianti a gradi.

Tipo	Esponi	Nome	Valore	Formula
Dim	<input type="checkbox"/>	delta1	30,59 °	=180*100° delta1_rad /314
Dim	<input type="checkbox"/>	delta_a1	35,07 °	=180*100° delta_a1_rad /314
Dim	<input type="checkbox"/>	delta_f1	25,23 °	=180*100° delta_f1_rad /314
Dim	<input type="checkbox"/>	teta_a1	4,48 °	
Dim	<input type="checkbox"/>	teta_f1	5,37 °	
Dim	<input type="checkbox"/>	diametro_evoluta	62,08 mm	=2° raggio_immaginario_1 *cos{
Var	<input type="checkbox"/>	m	4,500	
Var	<input type="checkbox"/>	z1	13,000	
Var	<input type="checkbox"/>	z2	22,000	
Var	<input type="checkbox"/>	delta1_rad	0,53 °	=ATN(z1 / z2)
Var	<input type="checkbox"/>	teta_a1_rad	0,08 °	=atn(2°sin(delta1_rad)/ z1)
Var	<input type="checkbox"/>	teta_f1_rad	0,09 °	=atn(2°1.2°sin(delta1_rad)/ z1)
Var	<input type="checkbox"/>	delta_a1_rad	0,61 °	= delta1_rad + teta_a1_rad
Var	<input type="checkbox"/>	delta_f1_rad	0,44 °	= delta1_rad - teta_f1_rad
Var	<input type="checkbox"/>	alfa	24,00 °	
Var	<input type="checkbox"/>	alfa_rad	0,42 °	=314° alfa /(180°100)
Var	<input type="checkbox"/>	p	14,13 mm	=314° m /100
Var	<input type="checkbox"/>	x	0,059	=(14 - z1)/17
Var	<input type="checkbox"/>	h	9,77 mm	
Var	<input type="checkbox"/>	u	1,692	= z2 / z1
Var	<input type="checkbox"/>	E	90,000	
Var	<input type="checkbox"/>	z_v1	19,080	= z1 /cos(delta1)

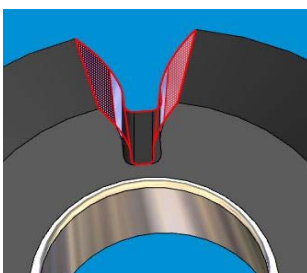


Sulla base dello schizzo iniziale è stata poi creata per protusione la parte.

A questo punto l'obiettivo era quello di costruire un dente il cui profilo fosse veramente un evolvente di cerchio; perciò è stata studiata a parte la conformazione di tale profilo, descritto dal punto di una retta che rotola senza strisciare su una circonferenza; in questo caso il **diametro dell'evoluta** si trova moltiplicando il diametro immaginario per il coseno dell'angolo di pressione. Lo schizzo dell'evolvente è stato disegnato sul piano inclinato tangente la ruota; a partire dall'evolvente è stato poi creato uno schizzo simmetrico per la realizzazione dello scavo di loft. Si è fatta questa scelta perché usando il semplice scavo di scorrimento si ottenevano profili distorti.



Scavo di loft

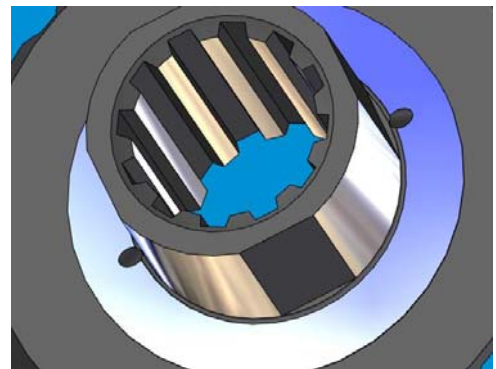
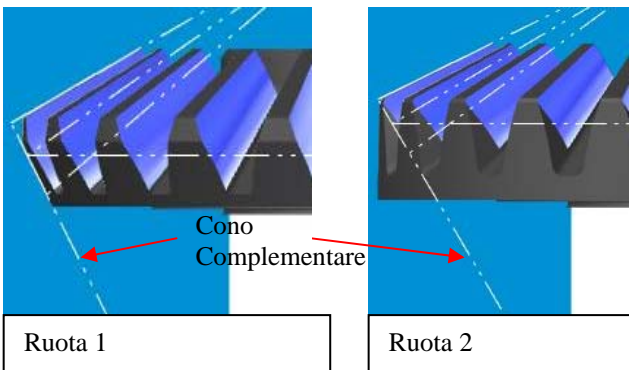


Dalla figura a lato si può notare lo scostamento tra lo scavo di loft (in rosso) e lo scavo di scorrimento che, dilatando la scanalatura, assottiglia troppo lo spessore del dente.



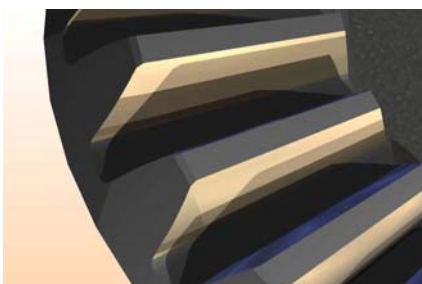
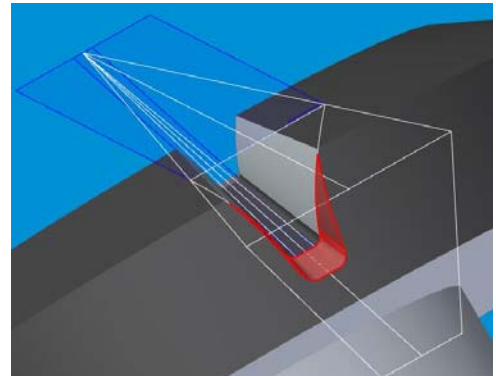
Alla fine del lavoro si notano ora lievi differenze, che riguardano la forma e la lunghezza dei denti (più affusolati nel modello, più tozzi nell'oggetto reale); ciò per il fatto di aver seguito, nella realizzazione, un percorso rigoroso più dal punto di vista tecnico che da quello visivo.

Per il planetario si è cominciato modificando quote (dalla tabella delle variabili) e schizzi dal modello stesso del satellite giungendo fino alla creazione della dentatura, e poi proseguendo effettuando lavorazioni particolari, quali le scanalature e i fori inclinati per l'introduzione dell'olio lubrificante e le scanalature per la calettatura dell'albero.



Il lavoro si è fatto più complesso per quanto riguarda il secondo planetario, leggermente diverso dal primo perché munito di fori per l'inserimento del dispositivo di bloccaggio; la presenza di questi fa sì che lungo il perimetro esterno la dentatura non sia inclinata secondo il cono complementare, ma scenda invece verticalmente come un cilindro. Poiché lo scavo di loft, eseguito a partire dal piano inclinato giacente sul cono complementare, può essere effettuato solo in un verso, lo scavo, di per sé, risultava incompleto.

Per completarlo nella parte mancante abbiamo ideato uno stratagemma un po' macchinoso, eseguendo un successivo scavo di loft dopo aver definito altre linee guida e piani di riferimento adeguati; la geometria ottenuta è stata confrontata con quella reale riscontrando una buona attinenza.



CUSCINETTI, DISTANZIALI E DISPOSITIVO DI BLOCCAGGIO



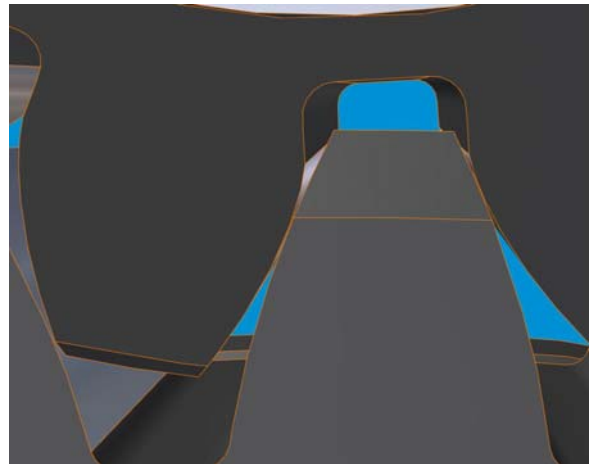
Non si sono incontrate difficoltà meritevoli di nota; sono state usate lavorazioni e comandi descritti in precedenza, riportando le dimensioni misurate e lavorando sull'aspetto grafico, piuttosto che su quello tecnico. Riguardo ai cuscinetti, anche in questo caso è stata usata una texture tratta da una fotografia dell'oggetto per rendere le superfici verosimili.

ASSIEME

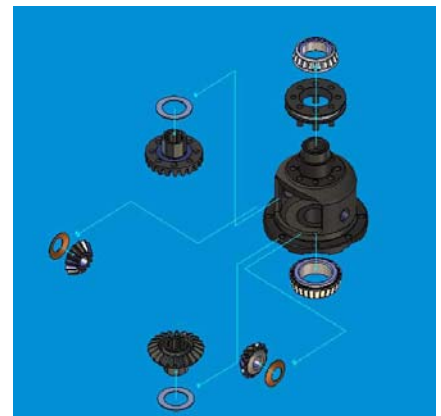
L'ambiente "Assembly" non ci ha causato particolari difficoltà; abbiamo usato il portatreno come riferimento e usando soprattutto il vincolo di coassialità sono stati vincolati tutti i componenti.

Già durante tutta la fase di modellazione avevamo lavorato tenendo conto degli ingombri richiesti dai vari pezzi, dunque nell'assemblaggio è stata necessaria solo una piccola modifica alla sede delle bronzine (all'interno della cassa) per una migliore spaziatura tra i satelliti. I vincoli assegnati lasciano un certo grado di libertà alle parti del sistema, ma tali libertà sono le stesse del caso reale: rotazione e traslazione (almeno parziale) attorno e lungo il proprio asse per ruote e distanziali, traslazione per il dispositivo di bloccaggio.

Per un preciso ingranamento dei denti sono stati utili i comandi "Movimento Fisico" e "Rileva Collisione", che hanno permesso di definire con precisione lo scostamento tra i vertici dei coni primitivi delle ruote; tali comandi, inoltre, permettono di osservare i giochi che si hanno tra i vari componenti.



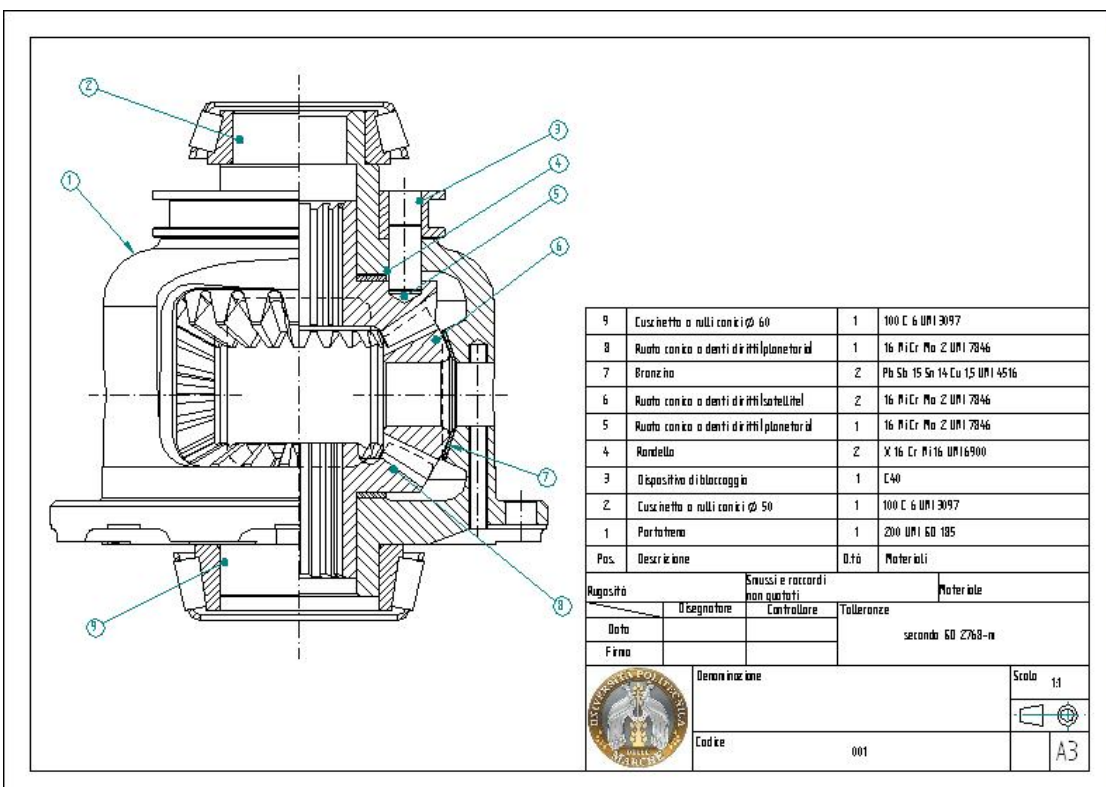
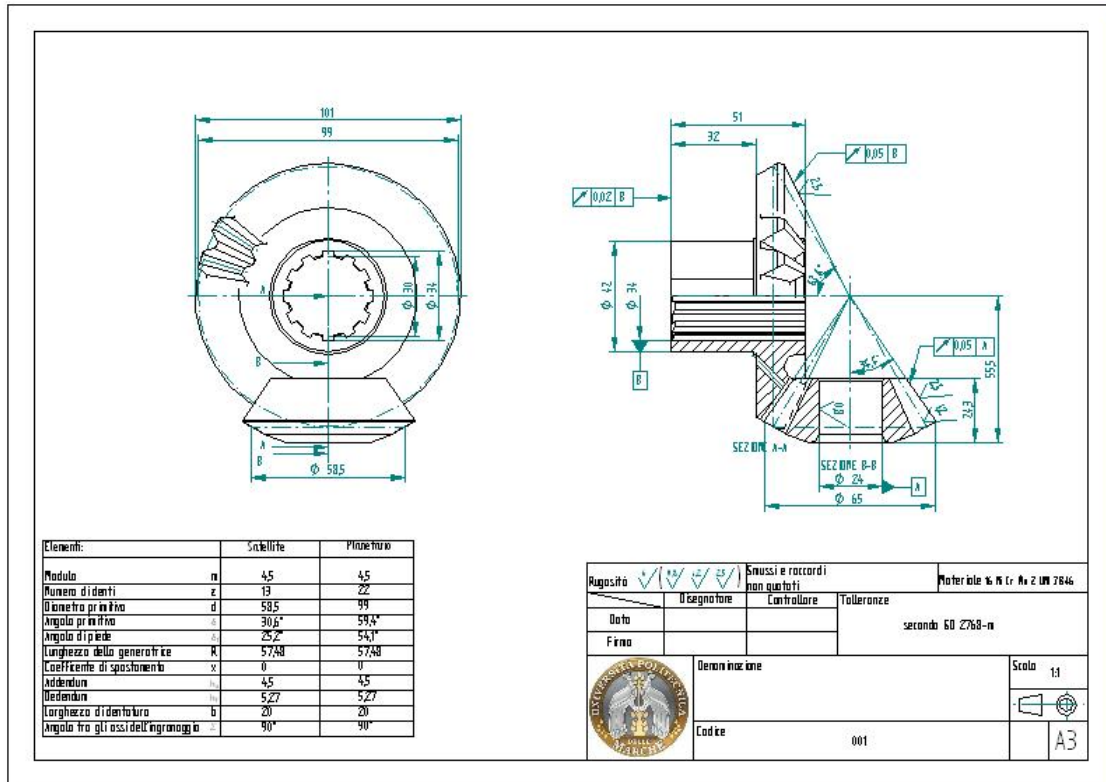
Riguardo l'esploso, il comando automatico non dava i risultati desiderati, dunque è stato eseguito manualmente.



TAVOLE TECNICHE

La tavola scelta come più rappresentativa è quella dell'accoppiamento satellite planetario, nella quale sono riportate tutte le caratteristiche di progetto cercando di rispettare le norme del disegno tecnico.

La tavola del complessivo è stata creata a partire dall'assieme; la pallinatura e la distinta pezzi sono state eseguite tramite il comando automatico. Lo spaccato è stato realizzato tramite il comando "Taglio" a partire da una vista da sopra, che è stata successivamente eliminata. Per eliminarla abbiamo dovuto scollegare il disegno dal modello 3D.



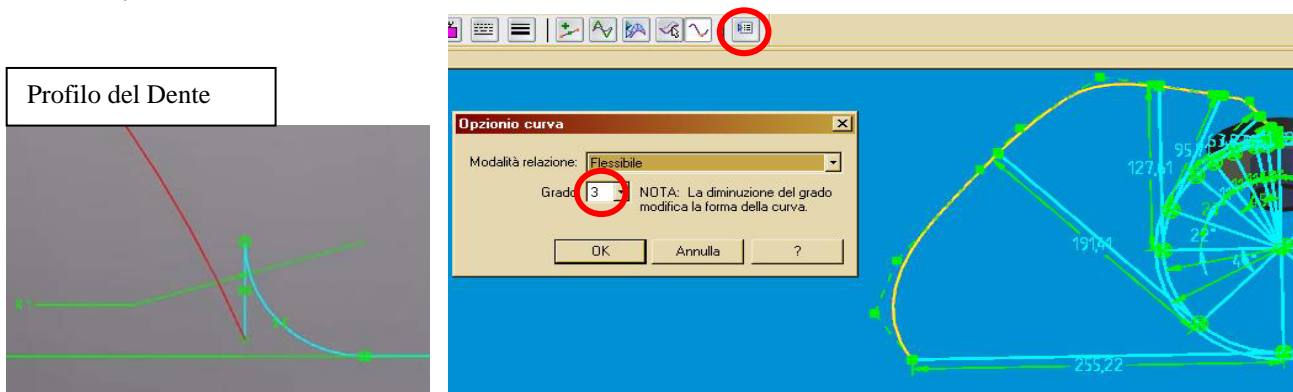
ASPETTI DI VARIABILITÀ GEOMETRICA

Alla fine del lavoro, per rendere il modello modificabile attraverso la tabella delle variabili, sono stati fatti molteplici tentativi incontrando e correggendo incongruenze diffuse riguardanti vincoli e relazioni; tali incongruenze non erano state considerate durante la modellazione a causa della complessità degli schizzi e degli scavi.

I risultati infine ottenuti risultano soddisfacenti: nella tabella variabili tutti i parametri caratteristici sono legati al valore del modulo “m” e del numero dei denti e basta modificare tali parametri per ottenere ruote di dimensioni diverse da quelle modellate.

Tale operazione risulta tuttavia delicata e occorre seguire alcune accortezze:

Innanzitutto è consigliabile andare alla prima feature (comando “Vai a”) in modo da permettere al software di calcolare una lavorazione alla volta, dunque aprendo la tabella variabili andare a modificare i valori desiderati per poi mostrare una a una le feature successive. Giunti allo schizzo relativo all’**evolvente di cerchio**, aprirlo, selezionare la curva (che risulterà distorta) e ricalcolarla: per fare ciò basterà aprire la finestra di dialogo “Opzioni Curve” e cambiare il grado della curva;



Infine, allo schizzo “Profilo Dente” verificare che i raccordi alla base del dente non diano forme irregolari, ed eventualmente correggerli spostandone le estremità.

Questo darà luogo ad una dentatura corretta.

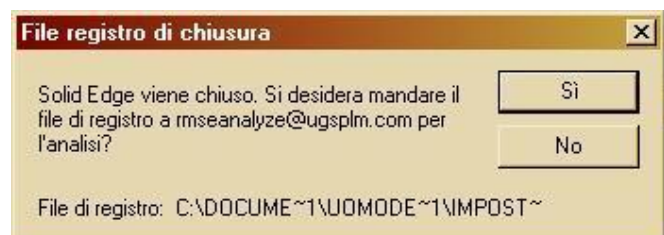
Probabilmente occorrerà modificare alcune delle altre lavorazioni in funzione delle nuove dimensioni (smussi, fori, ecc..). **Alcune feature sono state volutamente lasciate sottovincolate, per permettere una corretta modifica delle geometrie.**

DIFFICOLTÀ INCONTRATE

Durante la modellazione siamo riusciti a completare tutti gli obiettivi che ci eravamo prefissati, superando le molteplici difficoltà incontrate con l’acquisizione di praticità e dimestichezza col programma, soprattutto per quanto riguarda la creazione del profilo ad evolvente, alcune superfici particolari e la correzione di incongruenze e di profili sottovincolati. Molte delle soluzioni trovate per tali difficoltà sono state esposte sopra.

Non nascondiamo la frustrazione nell’uso di un software pieno di bug, limiti e di fastidiosi errori di sistema: in particolare la frequente comparsa, di fronte a feature irrealizzabili, di una finestra di errore che rimandava alla chiusura del programma, con l’irreparabile perdita del lavoro non salvato, ed inspiegabili insuccessi nella realizzazione di feature e schizzi, i quali insuccessi venivano superati col riavvio del programma.

L’ambiente “Draft”, a valle di un apparente immediatezza e praticità, ci è parso superficiale e ci ha costretti spesso a macchinosità e a un lungo e minuzioso lavoro, in particolare per nascondere linee fastidiose, per la modifica di tratti e spessori e riguardo l’uso del testo e dei simboli nelle tabelle.



APPLICAZIONI COMPLEMENTARI

In ambiente Motion volevamo creare un'animazione che mostrasse il vero lavoro del differenziale, sia nella condizione di moto uniforme, che in quella di slittamento, e il compito del dispositivo di bloccaggio; per fare ciò occorreva creare un'animazione dinamica, che coinvolgesse le varie situazioni.

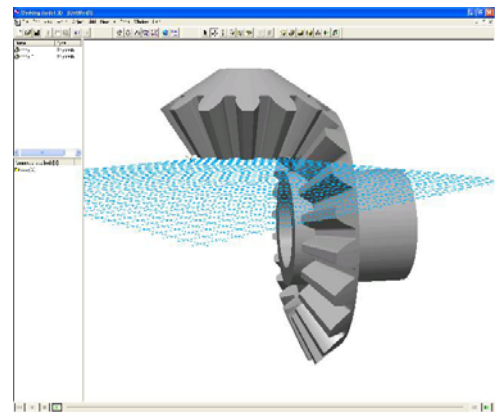
Abbiamo dunque usufruito della funzione "Passo", che permette di suddividere il periodo della simulazione in diversi intervalli di tempo, in ognuno dei quali abbiamo descritto una certa situazione, assegnando alle velocità angolari i valori assunti in relazione al tipo di rotismo:

1. Blocco inserito: la funzione del differenziale è inutilizzata, tutte le ruote dentate sono costrette a ruotare assieme al portatreno attorno all'asse di quest'ultimo.
2. Estrazione del dispositivo di bloccaggio: tramite un moto di traslazione di quest'ultimo, il blocco viene disinserito, e il differenziale ha la potenzialità di entrare in funzione.
3. Moto rettilineo del veicolo: le ruote dentate continuano a muoversi alla stessa maniera attorno all'asse del portatreno, poiché non è intervenuta nessuna situazione di moto relativo.
4. Slittamento: uno dei due planetari comincia ad accelerare (traiettoria esterna della curva oppure slittamento per fondo scivoloso), fino ad una velocità angolare doppia rispetto al portatreno; contemporaneamente l'altro, a causa della conseguente rotazione dei satelliti, decelera fino a fermarsi.

Per l'animazione è stato usato il modello del portatreno con la cassa trasparente, per rendere visibile il moto degli ingranaggi, inoltre è stato creato un perno per fissare i satelliti e degli assi con delle ruote stilizzate, per rendere chiaro il funzionamento.

Infine abbiamo provato a trasferire il modello del satellite e del planetario sul software Working Model 3D; per farlo abbiamo provato dapprima col formato ACIS (.sat), convertibile poi in formato Working Model (.wm3) tramite ACIS Converter. In questo modo però andava perso il profilo evolvente, perché il file ACIS semplificava nettamente le curve realizzava profili dritti.

Dunque abbiamo provato esportando in formato STL. In questo modo era possibile definire manualmente il livello di dettaglio, ottenendo i risultati richiesti.



SUDDIVISIONE DEL LAVORO

Premettiamo che, vivendo nella stessa zona, la maggior parte del lavoro è stato svolto insieme, in particolare: la scelta delle strategie di modellazione, il lavoro in ambiente Assembly, Motion e Draft, e l'impostazione della tabella delle variabili.

Ovviamente, nella creazione dei componenti, ci siamo divisi alcuni compiti ma aggiornandoci continuamente riguardo i nuovi comandi appresi: ogni singolo componente è stato migliorato via via passandocelo dall'uno all'altro, e spesso lavorando affiancati su due pc.