

Lar Integrals

Introduzione

Questo modulo implementa un metodo di integrazione finita di polinomi del tipo:

$$x^\alpha y^\beta z^\gamma \quad (1)$$

Vengono implementate due funzioni **II** e **III** che permettono di fare rispettivamente l'integrale di superficie e di volume di polinomi del tipo specificato.

L'integrale di superficie viene calcolato facendo la somma degli integrali dei triangoli che compongono la superficie, ottenuti tramite triangolazione della superficie stessa.

La funzione **TT** permette di calcolare l'integrale sul singolo triangolo.

L'integrale di volume si ottiene facilmente grazie al Teorema della Divergenza; questo teorema permette di calcolare un integrale di volume da un integrale di superficie.

È importante notare che tutti i domini, sia 2D che 3D, sono definiti in 3 dimensioni.

Grafo delle dipendenze

Di seguito è riportata l'illustrazione del grafo delle dipendenze della base di codice. In particolare, sul questo grafo sono riportati i nodi che rappresentano le funzioni della base di codice e dove ogni arco orientato rappresenta una chiamata di funzione (v_1, v_2), dove v_1 è la funzione chiamante, e v_2 è la funzione chiamata. Gli archi hanno un'etichetta numerica consecutiva corrispondente all'ordine delle chiamate dal nodo loro origine.

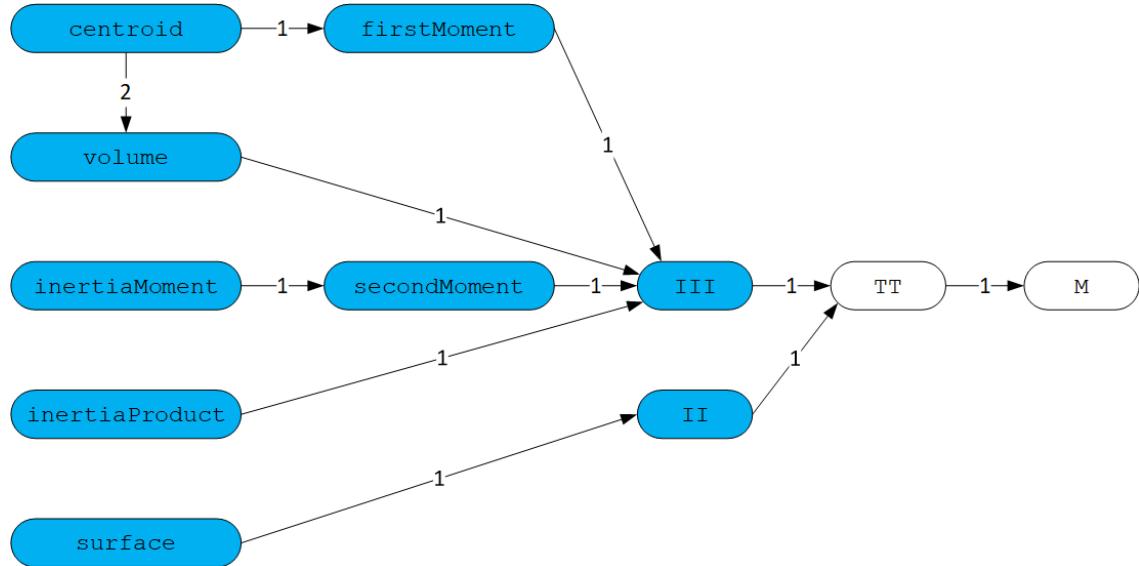


Figure 1: Grafo Delle Dipendenze, versione iniziale

In blu sono rappresentate le interfacce principali del modulo.

Descrizione funzioni di integrazione

La funzione `function M(alpha::Int, beta::Int)::Float64` calcola la seguente formula:

$$II^{\alpha\beta} = \frac{1}{\alpha+1} \sum_{h=0}^{\alpha+1} \binom{\alpha+1}{h} \frac{(-1)^h}{h+\beta+1} \quad (2)$$

Che con $\alpha = 0$ e $\beta = 0$ si riduce al calcolo dell'area del triangolo con vertici $w_o = (0, 0)$, $w_a = (1, 0)$ e $w_b = (0, 1)$, pari a $\frac{1}{2}$. Consideriamo la seguente funzione:

```
function TT(tau::Array{Float64,2},
    alpha::Int, beta::Int, gamma::Int, signedInt::Bool=false)
    vo,va,vb = tau[:,1],tau[:,2],tau[:,3]
    a = va - vo
    b = vb - vo
    s1 = 0.0
    for h=0:alpha
        for k=0:beta
            for m=0:gamma
                s2 = 0.0
                for i=0:h
                    s3 = 0.0
                    for j=0:k
                        s4 = 0.0
                        for l=0:m
                            s4 += binomial(m,l) * a[3]^(m-l) * b[3]^l *
                                M(h+k+m-i-j-l, i+j+1)
                        end
                        s3 += binomial(k,j) * a[2]^(k-j) * b[2]^j * s4
                    end
                    s2 += binomial(h,i) * a[1]^(h-i) * b[1]^i * s3;
                end
                s1 += binomial(alpha,h) * binomial(beta,k) * binomial(gamma,m) *
                    vo[1]^(alpha-h) * vo[2]^(beta-k) * vo[3]^(gamma-m) * s2
            end
        end
    end
    c = cross(a,b)
    if signedInt == true
        return s1 * norm(c) * sign(c[3])
    else
        return s1 * norm(c)
    end
end
```

Permette di calcolare l'integrale di un triangolo implementando la seguente formula:

$$\begin{aligned}
 II_{\tau}^{\alpha\beta\gamma} = & II^{uv} |a \times b| \cdot \\
 & \cdot \sum_{h=0}^{\alpha} \binom{\alpha}{h} x_0^{\alpha-h} \sum_{k=0}^{\beta} \binom{\beta}{k} y_0^{\beta-k} \sum_{m=0}^{\gamma} \binom{\gamma}{m} z_0^{\gamma-m} \cdot \\
 & \cdot \sum_{i=0}^h \binom{h}{i} a_x^{h-i} b_x^i \sum_{j=0}^k \binom{k}{j} a_v^{k-j} b_y^j \sum_{l=0}^m \binom{m}{l} a_z^{m-l} b_z^l
 \end{aligned} \tag{3}$$

Dato il triangolo τ , come array di array di vertici di tre dimensioni $v_o = (x_o, y_o, z_o)$, estraiamo i vertici v_o, v_a, v_b . Estratti i vertici calcoliamo i vettori a e b e l'equazione parametrica del piano di inclusione del triangolo vale $p = v_o + u * a + v * b$.

Possiamo notare come $s4$ corrisponda all'ultima sommatoria e l'ultimo termine della sommatoria corrisponda alla funzione M (con $u = (h+k+m) - (i+j+l)$ e $v = (i+j+l)$), $s3$ alla penultima sommatoria, $s2$ alla terz'ultima sommatoria e $s1$ alle prime tre sommatorie. Alla fine viene eseguito il prodotto vettoriale fra a e b .

Le funzioni:

- `function II(P::LAR, alpha::Int, beta::Int, gamma::Int, signedInt=false)::Float64`
- `function III(P::LAR, alpha::Int, beta::Int, gamma::Int)::Float64`

Permettono di calcolare rispettivamente l'integrale doppio e l'integrale triplo di un polinomio che ha come dominio un poligono; l'integrale viene calcolato attraverso la somma delle aree dei triangoli (funzione TT) ottenuti dalla suddivisione della sua superficie.

Esempi e valutazione delle prestazioni nella versione iniziale

L'oggetto considerato come esempio per il calcolo del volume e per valutare le prestazioni del codice è il modello 3D *Stanford Bunny*; Il modello *Stanford Bunny* è stato originariamente costruito nel 1994 da Greg Turk e Marc Levoy utilizzando una tecnica, chiamata scansione della distanza, che hanno sviluppato per creare modelli poligonali.

Il modello Bunny che hanno creato consisteva esattamente in 69.451 triangoli; ci sono cinque fori nel modello Bunny: tre di questi erano il risultato di una copertura inadeguata durante la scansione, e i due fori circolari sulla base esistevano sul Bunny fisico, che era vuoto.

Lo *Stanford Bunny* è diventato uno dei modelli più comunemente usati per testare le tecniche di computer grafica.

Per la rappresentazione dell'oggetto in questione è stata utilizzata la libreria *Plasm.jl*:

```
julia> V, EV, FV = obj2lar("bunny.obj")  
  
julia> EV = EV[1]; FV = FV[1]; VV = [[k] for k=1:size(V,2)]  
  
julia> model = (V, (VV, EV, FV)); P = V, FV  
  
julia> Plasm.view(V, FV)  
  
julia> volume(P)  
0.0012384353003724998
```

Come si vede dall'immagine (Figure 2) la superficie dell'oggetto è triangolata, cioè divisa in tanti triangoli (69.451).

L'oggetto Bunny (e in generale qualunque oggetto utilizzato in questa libreria) è rappresentato attraverso una particolare struttura dati detta LAR (Linear Algebraic Representation), cioè uno schema di rappresentazione generale per la modellazione geometrica e topologica. Il dominio di questa rappresentazione è dato da complessi cellulari, mentre il suo codominio è un insieme di matrici sparse.

La rappresentazione LAR è estremamente efficace per rappresentare facilmente solidi generali.

Ad esempio, la rappresentazione in memoria di un complesso cellulare $d = 3$ utilizzando LAR consiste in due sole matrici sparse binarie per la topologia e un array bidimensionale per la geometria.

Nel caso di Bunny, la sua struttura dati (necessaria per la visualizzazione 3D attraverso la libreria *Plasm.jl*) è caratterizzata da:

- V : 3×35947 Matrix{Float64}, una matrice di Float64 che rappresenta la geometria, cioè tutti i vertici che caratterizzano l'oggetto;
- FV : 69451-element Vector{Vector{Int64}}, un vettore di vettori di Int64 che rappresenta la topologia, cioè tutte le facce dell'oggetto;

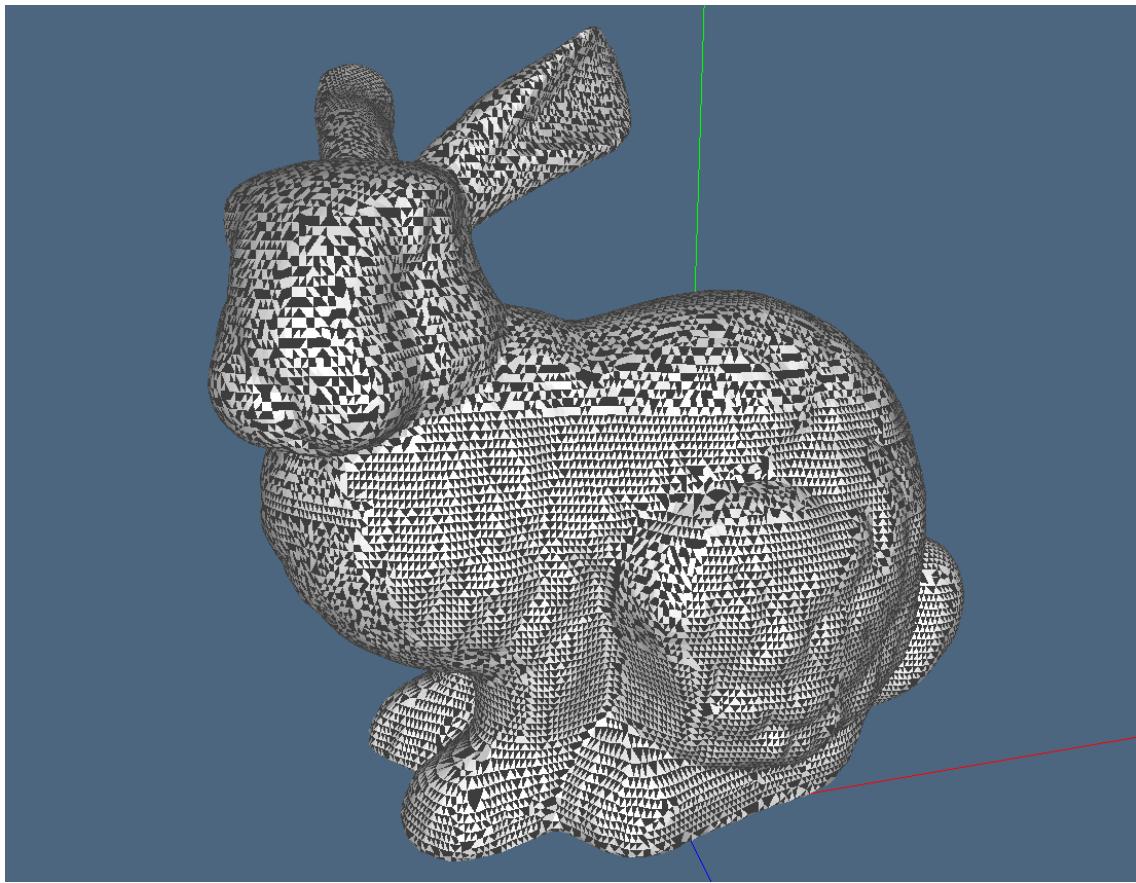


Figure 2: Stanford Bunny

Possiamo osservare alcuni valori di queste due strutture:

```
julia> V
3×35947 Matrix{Float64}:
-0.03783  -0.044779  -0.06801   ...  -0.070454  -0.031026  -0.040044
 0.12794    0.128887   0.151244          0.150585   0.153728   0.15362
 0.004475   0.001905   0.037195          -0.043458  -0.003546  -0.008167

julia> FV
69451-element Vector{Vector{Int64}}:
[20400, 21216, 21217]
[9187, 9281, 14839]
...
[17280, 17347, 34910]
[17278, 17347, 34910]
[17278, 17346, 17347]
```

Possiamo visualizzare qualche triangolo della struttura dati dello *Stanford Bunny* (Figure 3), in particolare visualizziamo i seguenti triangoli:

```
julia> V = hcat(VV)
3×7 Matrix{Float64}:
-0.03783   -0.038818   -0.03745    -0.039193   -0.036508   -0.036802   -0.038119
 0.12794     0.128112   0.127748    0.128299   0.127508   0.127806   0.128235
 0.004475    0.00411    0.003144    0.005436   0.003484   0.00486    0.005845
```

```
julia> FV
6-element Vector{Vector{Int64}}:
[1, 470, 1620]
[1, 470, 14339]
[1, 1620, 6762]
[1, 2131, 6762]
[1, 2131, 14331]
[1, 14331, 14339]
```

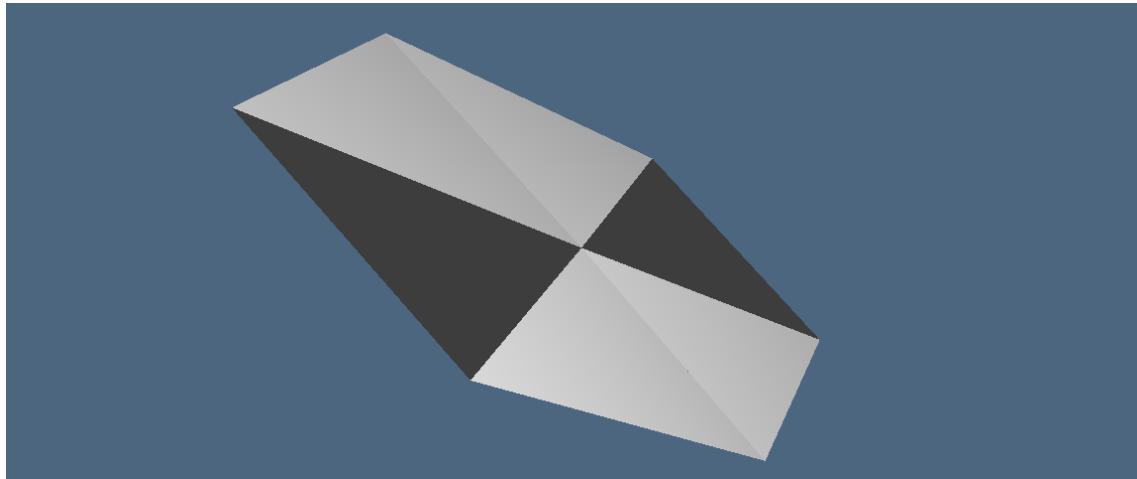


Figure 3: Triangoli Stanford Bunny

Inoltre, come si descriveva inizialmente, è possibile osservare (Figure 4) dei buchi al di sotto dello *Stanford Bunny*, tre di questi erano il risultato di una copertura inadeguata durante la scansione, e i due fori circolari sulla base esistevano sul Bunny fisico, che era vuoto.

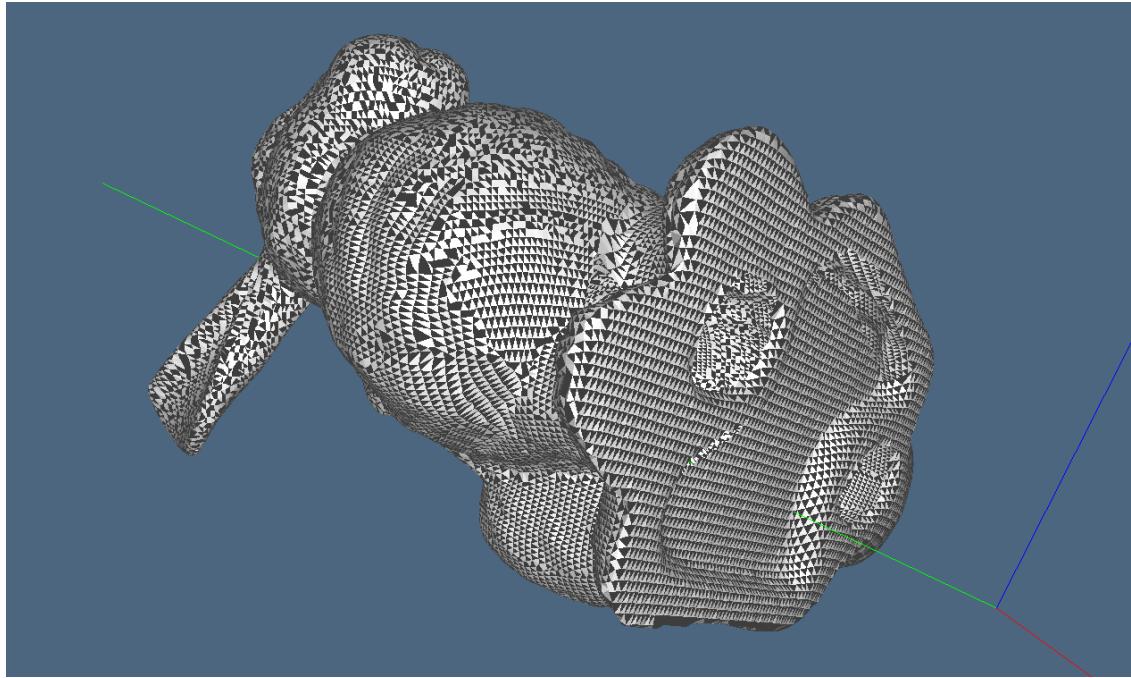


Figure 4: Stanford Bunny

Dal momento che la funzione principale di integrazione del modulo è la funzione `TT(tau::Array{Float64,2}, alpha::Int, beta::Int, gamma::Int, signedInt::Bool=false)` valutiamo i suoi tempi d'esecuzione attraverso la macro `@benchmark`, andando a calcolare l'integrale di superficie (con la funzione `TT`) di un triangolo del tipo `tau = [0.0 1.0 0.0; 0.0 0.0 1.0; 0.0 0.0 0.0]`.

```
julia> @benchmark TT(tau,0,0,0)
BenchmarkTools.Trial: 10000 samples with 229 evaluations.
Range (min ... max): 338.865 ns ... 7.395 μs | GC (min ... max): 0.00% ... 93.38%
Time (median):      357.319 ns          | GC (median):      0.00%
Time (mean ± σ):   380.316 ns ± 293.746 ns | GC (mean ± σ):  3.89% ±  4.78%

```

Memory estimate: 528 bytes, allocs estimate: 9.

Figure 5: Tempi d'esecuzione funzione TT, versione iniziale

Oltre a questo, valutiamo i tempi d'esecuzione della funzione `volume(P::LAR, signedInt::Bool=false)::Float64`, calcolando il volume dell'oggetto *Stanford Bunny*:

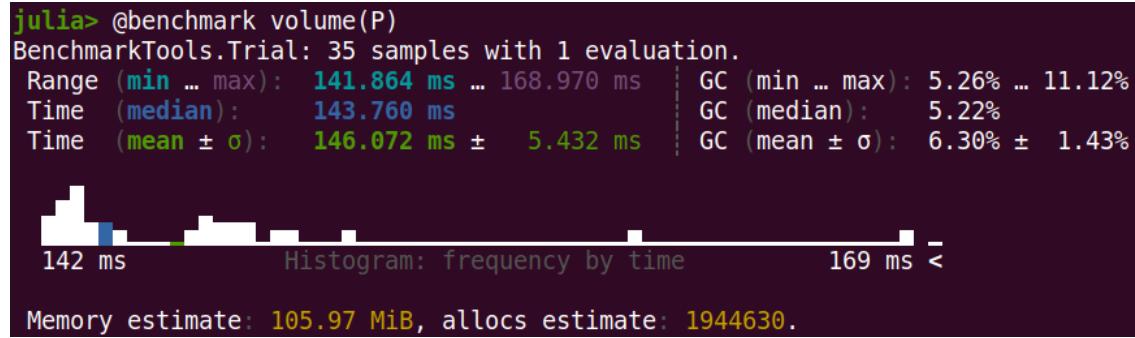


Figure 6: Tempi d'esecuzione funzione `volume`, versione iniziale

Come si può osservare (Figure 5 e 6), si ha come media d'esecuzione i seguenti valori:

- Funzione `TT`: 380.316 ns \pm 293.746 ns
- Funzione `volume`: 146.072 ms \pm 5.432 ms

Osservazioni preliminari

Dallo studio preliminare sono emersi dei problemi per quanto riguarda il calcolo del volume di un'oggetto. Infatti, la funzione `volume`, e di conseguenza `III`, non prevedeva il parametro `signedInt::Bool`, quindi venivano calcolati gli integrali con segno e facendo la somma con segno degli integrali sui triangoli `tau` il volume dell'oggetto *Stanford Bunny* veniva pressoché 0.

Le funzioni `volume` e `III` sono state modificate in modo da permettere il calcolo dell'integrale senza segno.

Viene poi ridefinita la funzione `obj2lar(path)`, nel file `utilities.jl`, dal momento che nella libreria `LinearAlgebraicRepresentation.jl` presenta un errore nell'ultima riga di codice che è stata corretta in:

```
return convert(Lar.Points, vs'), edges[1:end], faces[1:end]
```

La riga originale era:

```
return convert(Lar.Points, vs'), edges[2:end], faces[2:end]
```

Ottimizzazione del codice

La prima modifica apportata al codice è stata quella di dividere la funzione TT in funzioni più piccole; in particolare, è stata divisa la parte di codice relativo ai loop annidati.

Per ogni loop, a partire da quello più in profondità, è stata definita una relativa funzione:

```
function s4(a, b, h, k, m, i, j)
    ss4 = 0.0
    for l=0:m
        ss4 += binomial(m,l) * a[3]^(m-l) * b[3]^l * M(h+k+m-i-j-1, i+j+1)
    end
    return ss4
end

function s3(a, b, h, k, m, i)
    ss3 = 0.0
    for j=0:k
        ss3 += binomial(k,j) * a[2]^(k-j) * b[2]^j * s4(a, b, h, k, m, i, j)
    end
    return ss3
end

function s2(a, b, h, k, m)
    ss2 = 0.0
    for i=0:h
        ss2 += binomial(h,i) * a[1]^(h-i) * b[1]^i * s3(a, b, h, k, m, i);
    end
    return ss2
end

function s1(a, b, alpha, beta, gamma, vo)
    ss1 = 0.0
    for h=0:alpha
        for k=0:beta
            for m=0:gamma
                ss1 += binomial(alpha,h) * binomial(beta,k) * binomial(gamma,m) *
                    vo[1]^(alpha-h) * vo[2]^(beta-k) * vo[3]^(gamma-m) *
                    s2(a, b, h, k, m)
            end
        end
    end
    return ss1
end
```

I loop all'interno della funzione `s1` sono stati ridotti in un unico loop come segue:

```
function s1(a, b, alpha, beta, gamma, vo)
    ss1 = 0.0
    for x=0:((alpha+1) * (beta+1) * (gamma+1))
        h = x ÷ ((beta+1) * (gamma+1))
        k = (x - h * (beta+1) * (gamma+1)) ÷ (gamma + 1)
        m = (x - h * (beta+1) * (gamma+1)) % (gamma + 1)
        ss1 += binomial(alpha,h) * binomial(beta,k) * binomial(gamma,m) *
            vo[1]^(alpha-h) * vo[2]^(beta-k) * vo[3]^(gamma-m) *
            s2(a, b, h, k, m)
    end
    return ss1
end
```

Quindi il nuovo grafo delle dipendenze è il seguente:

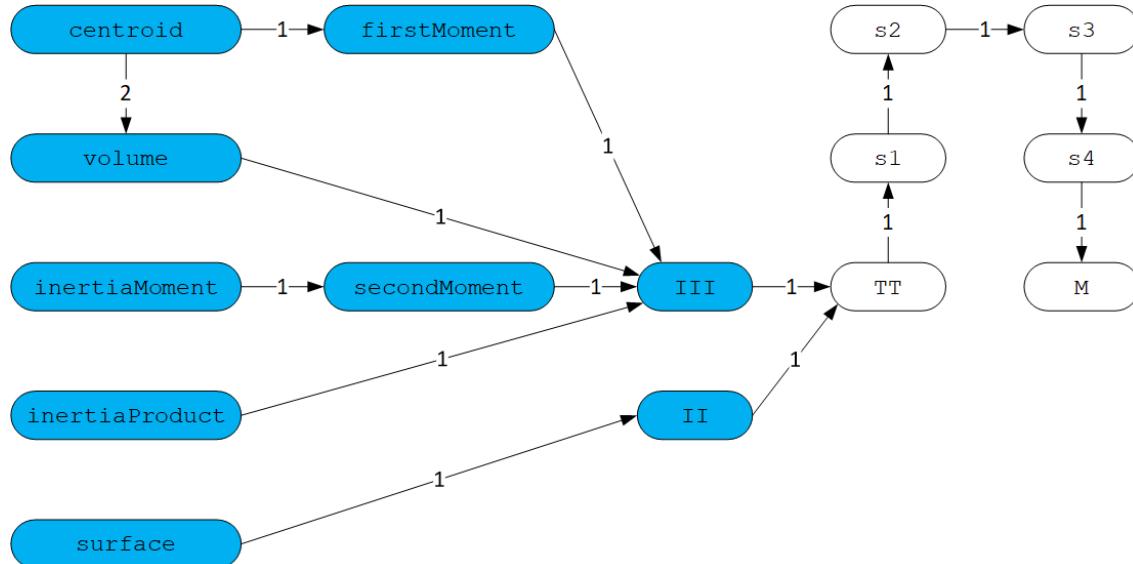


Figure 7: Grafo Delle Dipendenze, versione ottimizzata

Per quanto riguarda l'ottimizzazione del codice si è deciso di scompattare la funzione TT per particolari valori di α , β e γ in modo da rendere il calcolo integrale molto efficiente.

Consideriamo i seguenti casi:

- Superficie: $\alpha = 0, \beta = 0, \gamma = 0$
- Volume: $\alpha = 0, \beta = 0, \gamma = 0$
- Momento primo rispetto x : $\alpha = 1, \beta = 0, \gamma = 0$
- Momento primo rispetto y : $\alpha = 0, \beta = 1, \gamma = 0$
- Momento primo rispetto z : $\alpha = 0, \beta = 0, \gamma = 1$
- Momento secondo rispetto x : $\alpha = 2, \beta = 0, \gamma = 0$
- Momento secondo rispetto y : $\alpha = 0, \beta = 2, \gamma = 0$
- Momento secondo rispetto z : $\alpha = 0, \beta = 0, \gamma = 2$
- Prodotto d'inerzia rispetto x : $\alpha = 0, \beta = 1, \gamma = 1$
- Prodotto d'inerzia rispetto y : $\alpha = 1, \beta = 0, \gamma = 1$
- Prodotto d'inerzia rispetto z : $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 0$

N.B.: come si evince dal grafo delle dipendenze (Figure 7), tutte le funzioni sopra elencate chiamano a loro volta, con gli stessi parametri α , β e γ , le funzioni II e III; in particolare, II fa una chiamata a TT sempre con i parametri α , β e γ , mentre III fa una chiamata a TT con i parametri $\alpha + 1$, β e γ .

L'unica funzione che chiama II è `surface`, tutte le altre, `volume`, `firstMoment`, `secondMoment` e `inertiaProduct` chiamano III.

Quindi, per il calcolo della superficie i parametri passati a TT rimangono invariati, mentre per il calcolo di volume, momento primo, momento secondo e prodotto d'inerzia i parametri passati alla funzione TT sono gli stessi, eccetto per α che viene incrementato di 1.

A questo punto i casi di studio della funzione TT diventano:

- Superficie: $\alpha = 0, \beta = 0, \gamma = 0$
- Volume: $\alpha = 1, \beta = 0, \gamma = 0$
- Momento primo rispetto x : $\alpha = 2, \beta = 0, \gamma = 0$
- Momento primo rispetto y : $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 0$
- Momento primo rispetto z : $\alpha = 1, \beta = 0, \gamma = 1$
- Momento secondo rispetto x : $\alpha = 3, \beta = 0, \gamma = 0$
- Momento secondo rispetto y : $\alpha = 1, \beta = 2, \gamma = 0$
- Momento secondo rispetto z : $\alpha = 1, \beta = 0, \gamma = 2$
- Prodotto d'inerzia rispetto x : $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 1$
- Prodotto d'inerzia rispetto y : $\alpha = 2, \beta = 0, \gamma = 1$
- Prodotto d'inerzia rispetto z : $\alpha = 2, \beta = 1, \gamma = 0$

La funzione TT è stata dunque scompattata in modo da rendere il calcolo dell'area del triangolo, per questi particolari parametri, più efficiente, evitando di effettuare la chiamata alla funzione s1.

Di seguito si riporta a titolo d'esempio solo un pezzo della nuova funzione TT.

```
function TT(...)

    ...
    if alpha == 0 && beta == 0 && gamma == 0
        area_tt = M(0,0)
    elseif alpha == 1 && beta == 0 && gamma == 0
        area_tt = vo[1] * M(0,0) + a[1] * M(1,0) + b[1] * M(0,1)
    elseif ...
        ...
    else
        area_tt = s1(a, b, alpha, beta, gamma, vo)
    end
    if signedInt == true
        return area_tt * norm(c) * sign(c[3])
    else
        return area_tt * norm(c)
    end
end
```

Valutiamo i tempi d'esecuzione della funzione `volume(P::LAR, signedInt::Bool=false)::Float64`, a seguito dell'ottimizzazione fatta alla funzione TT, calcolando il volume dell'oggetto *Stanford Bunny*:

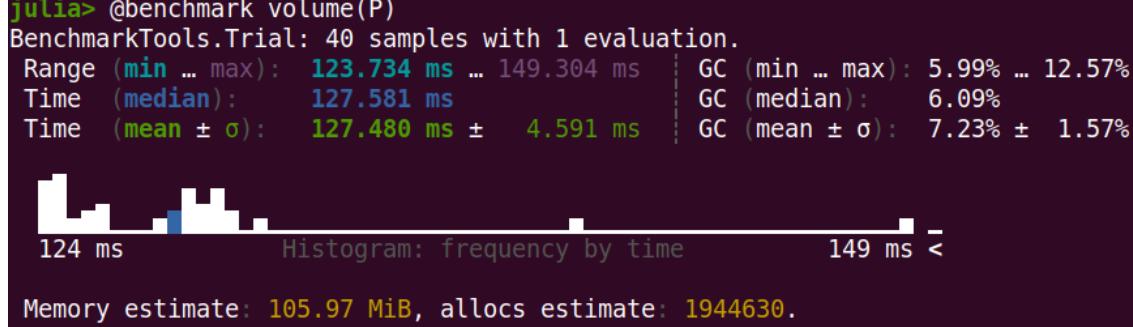


Figure 8: Tempi d'esecuzione funzione volume, versione ottimizzata

Come si può osservare (Figure 8), si ha come media d'esecuzione il valore:

- Funzione `volume`: $127.480 \text{ ms} \pm 4.591 \text{ ms}$

Confrontando i tempi con la versione iniziale, si può notare un **miglioramento** di circa 18.592 ms.

Parallelizzazione del codice

Si può osservare come le funzioni II e III non fanno altro che calcolare la superficie di ogni triangolo (attraverso la funzione TT) e poi sommare questi valori. Queste due funzioni si prestano molto bene alla parallelizzazione, dal momento che il calcolo della superficie dei singoli triangoli è indipendente e l'unico problema di concorrenza è la somma cumulativa di queste superfici. A tal scopo, per evitare problemi di concorrenza viene definito un array ausiliario, dove ogni cella è “assegnata” ad un thread il quale fa la somma cumulativa delle superfici dei triangoli salvando il risultato nella propria cella.

Per quanto riguarda l'implementazione parallela, sono state utilizzate le macro offerte da Julia, in particolare:

- `@threads`: davanti ai cicli così che ogni iterazione sia assegnata ad uno specifico thread;
- `@inbounds`: per rimuovere i controlli sul limite degli array;

La somma totale viene infine calcolata con la funzione `sum`.

A titolo d'esempio si riportano le modifiche effettuate alla funzione III:

```
function III()
    ...
    partialSum = zeros(length(nthreads()))
    @threads for i=1:length(FV)
        ...
        term = c[1]/norm(c) * TT(tau, alpha+1, beta, gamma, signedInt)
        if signedInt
            @inbounds partialSum[threadid()] = term
        else
            @inbounds partialSum[threadid()] = abs(term)
        end
    end
    return sum(partialSum)/(alpha + 1)
end
```

Valutiamo i tempi d'esecuzione della funzione `volume(P::LAR, signedInt::Bool=false)::Float64`, a seguito della parallelizzazione, calcolando il volume dell'oggetto *Stanford Bunny*:

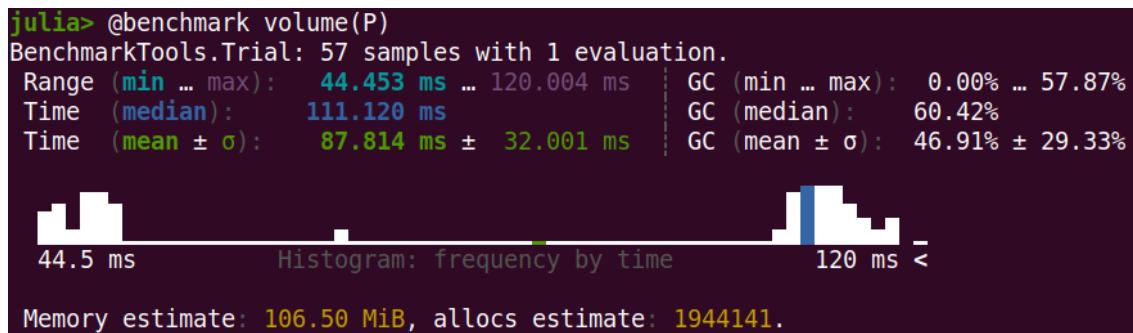


Figure 9: Tempi d'esecuzione funzione volume, versione parallelizzata con 4 thread

N.B.: in questo esempio è stato fatto lanciando Julia con il comando `julia -t 4`, in modo da far girare il codice in modo parallelo su 4 thread.

Come si può osservare (Figure 9), si ha come media d'esecuzione il valore:

- Funzione `volume`: $87.814 \text{ ms} \pm 32.001 \text{ ms}$

Anche se la media varia molto ($\pm 32.001 \text{ ms}$), confrontando i tempi con la versione ottimizzata, si può notare un **miglioramento** di circa 39.666 ms rispetto la media.

Sono stati poi presi i tempi (considerando sempre il calcolo del volume dell'oggetto *Stanford Bunny*) della versione parallela eseguendo il codice su 1, 2, 4 e 8 thread, ottenendo i seguenti risultati:

Numero di Thread	Media (ms)	Deviazione (ms)	Min (ms)	Max (ms)
1	133.843	2.843	130.556	143.857
2	102.186	11.621	90.465	127.617
4	87.814	32.001	44.453	120.004
8	83.692	84.708	24.924	222.583

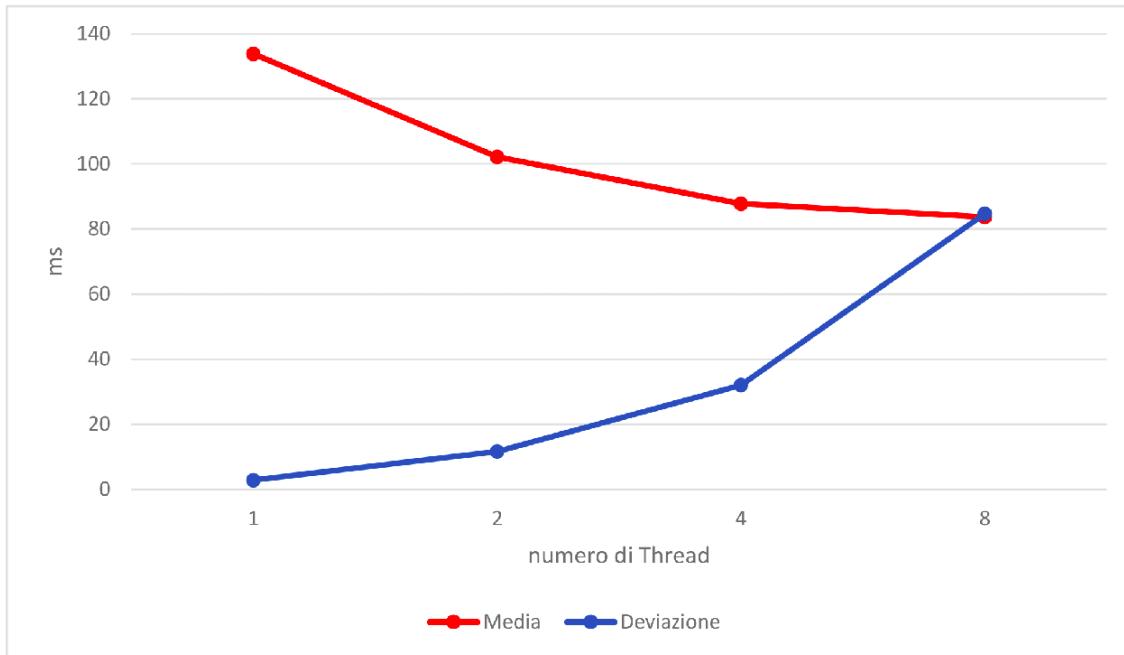


Figure 10: Media e Deviazione dei tempi d'esecuzione al variare del numero di thread

Dal grafico (Figure 10) notiamo come aumentando il numero di thread diminuisce la media d'esecuzione (rimane molto simile fra 4 e 8 thread), ma aumenta drasticamente la varianza.

Stesse considerazioni possono essere fatte visualizzando il minimo e il massimo tra i tempi d'esecuzione (Figure 11). Infatti, in tal caso notiamo come all'aumentare del numero di thread utilizzati il minimo si abbassa molto fino a 4 thread e con 8 thread diminuire di poco,

mentre il massimo tende a rimanere stabile fino a 4 thread per poi aumentare drasticamente con 8 thread.

Da questo possiamo concludere, che per far girare la versione parallelizzata di questo codice, l'ideale sembrerebbe utilizzare un numero di thread tra 2 e 4.

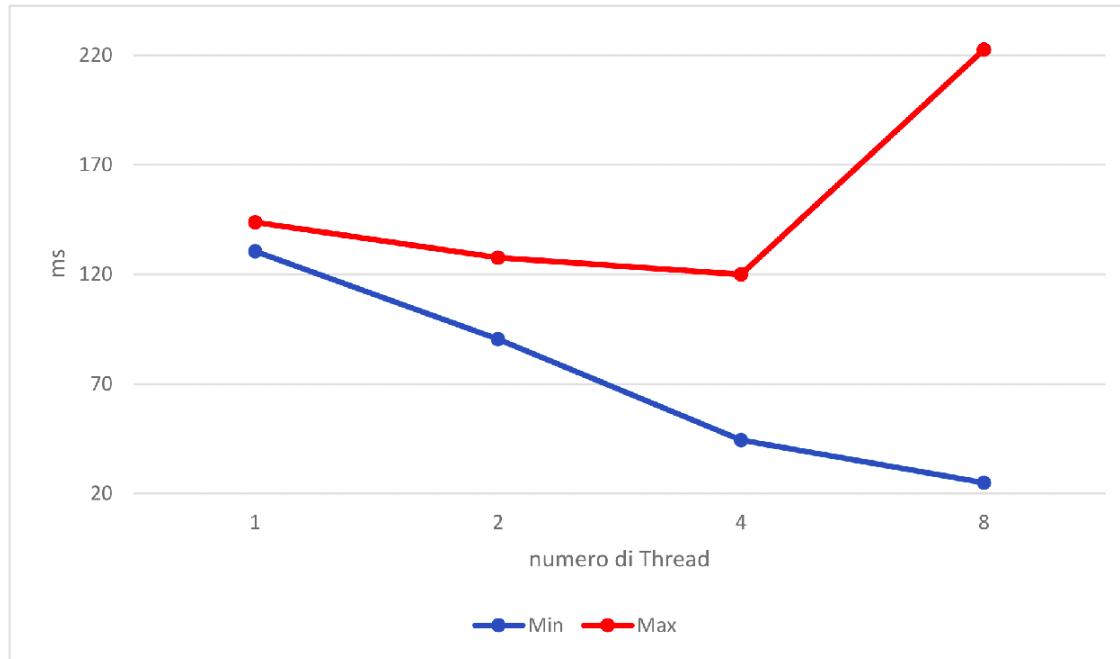


Figure 11: Min e Max dei tempi d'esecuzione al variare del numero di thread

Consideriamo poi le seguenti tre funzioni:

- `firstMoment(P::LAR)::Array{Float64,1}`
- `secondMoment(P::LAR)::Array{Float64,1}`
- `inertiaProduct(P::LAR)::Array{Float64,1}`

Dal momento che all'interno delle funzioni sopra specificate sono presenti tre chiamate a funzione indipendenti e quindi senza problemi di concorrenza, è possibile definire mediante la macro `@async` i seguenti task.

A titolo d'esempio si riporta la definizione della funzione `firstMoment`.

```
function firstMoment(P::LAR)::Array{Float64,1}
    out = zeros(3)
    @async begin
        out[1] = III(P, 1, 0, 0)
        out[2] = III(P, 0, 1, 0)
        out[3] = III(P, 0, 0, 1)
    end
    return fetch(out)
end
```

Conclusioni

In definitiva, si è riusciti ad ottenere una buona ottimizzazione del codice con conseguente riduzione dei tempi d'esecuzione del calcolo integrale; in particolare, è stata ottimizzata la funzione TT che permette il calcolo della superficie di un triangolo.

Questo è stato fatto prima scomponendo la funzioni in funzioni più piccole, poi andando a definire quali fossero i valori dei parametri di α, β, γ utilizzati in modo da semplificare la funzione di partenza implementata da TT.

In cascata, quindi, sono migliorate anche le prestazioni di tutte le interfacce del modulo, come il calcolo della superficie e del volume.

Dove è stato possibile sono state utilizzate le macro offerte da Julia, come `@async` per definire i task asincroni e `@threads` per parallelizzare i cicli for. Sono poi state valutate le prestazioni del codice parallelizzato notando un effettivo miglioramento con un numero di thread pari a 2 o 4.

In conclusione è possibile osservare la seguente riduzione dei tempi d'esecuzione (considerando sempre il calcolo del volume dell'oggetto *Stanford Bunny*):

Versione	Media (ms)	Deviazione (ms)
Versione Iniziale	146.072	5.432
Versione Ottimizzata	102.186	4.591
Versione Parallelizzata (2 thread)	102.186	11.621

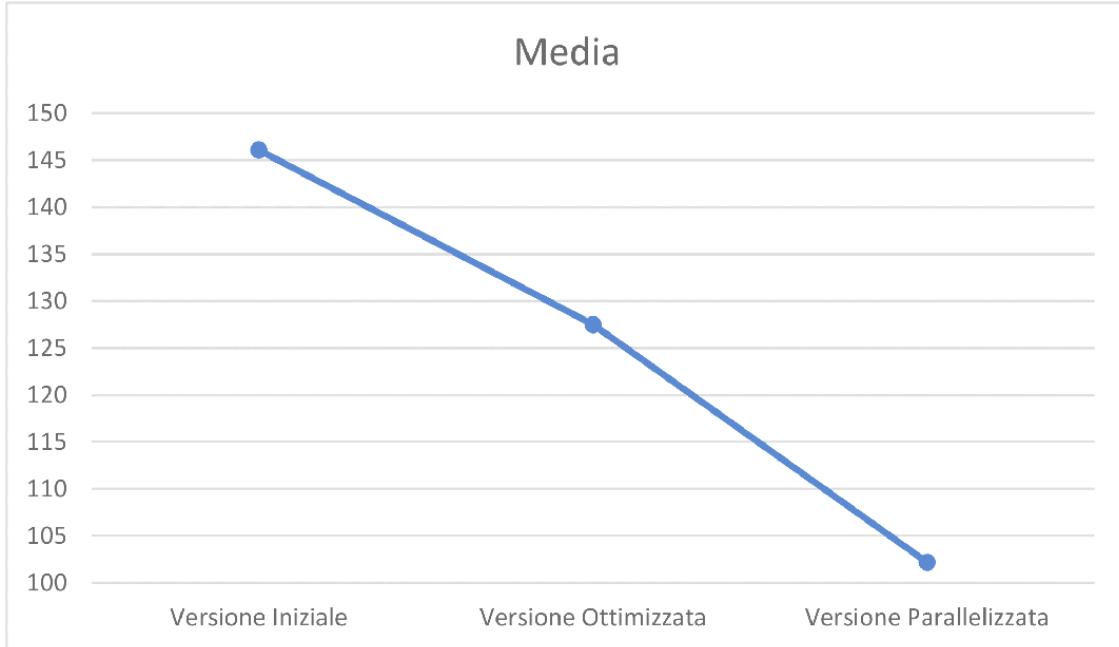


Figure 12: Media



Figure 13: Deviazione

Interfacce principali

Le interfacce principali, come si evince anche dal grafo delle dipendenze (Figure 1), sono:

- `surface(P::LAR, signedInt::Bool=false)::Float64`
- `volume(P::LAR)::Float64`
- `centroid(P::LAR)::Array{Float64,1}`
- `inertiaProduct(P::LAR)::Array{Float64,1}`
- `inertiaMoment(P::LAR)::Array{Float64,1}`
- `II(P::LAR, alpha::Int, beta::Int, gamma::Int, signedInt=false)::Float64`
- `III(P::LAR, alpha::Int, beta::Int, gamma::Int, signedInt::Bool=false)::Float64`
- `firstMoment(P::LAR)::Array{Float64,1}`
- `secondMoment(P::LAR)::Array{Float64,1}`

Link Github

<https://github.com/paolo-di-simone/Integrals.jl.git>

Specifiche macchina per valutazione prestazioni

Le valutazioni delle prestazioni del codice sono state effettuate su una macchina con le seguenti specifiche:

```
julia> versioninfo(verbose=true)
Julia Version 1.7.2
Commit bf53498635 (2022-02-06 15:21 UTC)
Platform Info:
  OS: Linux (x86_64-pc-linux-gnu)
    Ubuntu 18.04.4 LTS
  CPU: Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2698 v4 @ 2.20GHz:
        speed      user      nice      sys      idle      irq
    #1-80   3161 MHz  20647025 s  2613904 s  10892758 s  519083006 s  0 s
  Memory: 503.79284286499023 GB (464842.8515625 MB free)
  Uptime: 691698.07 sec
  Load Avg: 48.14 48.15 48.15
  WORD_SIZE: 64
  LIBM: libopenlibm
  LLVM: libLLVM-12.0.1 (ORCJIT, broadwell)
```

Bibliografia

- [1] Sheue-ling Lien and James T. Kajiya, A Symbolic Method for Calculating the Integral Properties of Arbitrary Nonconvex Polyhedra, California Institute of Technology, 1984.
- [2] C. Cattani and A. Paoluzzi, Boundary integration over linear polyhedra, 1990.