



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale INGEGNERIA BIOMEDICA

**Effetti del livello di quantizzazione del segnale elettromiografico da
armband sul riconoscimento dei gesti dell'arto superiore**

**Effects of quantization level myoelectric signal from armband on upper
limbs gesture recognition**

Relatore:

Prof. **Federica Verdini**

Correlatori:

PhD **Mengarelli Alessandro**

PhD **Tigrini Andrea**

Tesi di Laurea di:

Tommaso Manzotti

A.A. 2021 / 2022

Indice

1. Introduzione.....	6
2. Modello e dispositivo di acquisizione.....	9
2.1 Soggetti e gesti	9
2.2 Dispositivo di acquisizione.....	11
2.3 Protocollo di misura	12
3. Metodi.....	13
3.1 Signal processing	13
3.2 La risoluzione	14
3.3 Media, Varianza, Kurtosis, Skenwess	15
3.4 Determinazione delle epoche di contrazione (Finestrazione)	16
3.5 Estrazione delle features	18
4. Risultati	21
4.1 Media.....	22
4.1.1 Media MAV	22
4.1.2 Media ZC	23
4.1.3 Media WL	24
4.1.4 Media SSC.....	25
4.1.5 Media RMS	26
4.1.6 Media AR	27

4.1.7 Risultati Media	28
4.2 Varianza	29
4.2.1 Varianza MAV.....	29
4.2.2 Varianza ZC.....	31
4.2.3 Varianza WL	32
4.2.4 Varianza SSC.....	34
4.2.6 Varianza AR.....	37
4.2.7 Risultati Varianza	37
4.3 Curtosi.....	39
4.3.1 Curtosi MAV	39
4.3.2 Curtosi ZC	41
4.3.3 Curtosi WL	43
4.3.4 Curtosi SSC.....	45
4.3.5 Curtosi RMS.....	47
4.3.6 Curtosi AR	49
4.3.7 Risultati Curtosi	51
4.4 Skewness.....	52
4.4.1 Skewness MAV	52
4.4.2 Skewness ZC	55
4.4.3 Skewness WL.....	57
4.4.4 Skewness SSC	59

4.4.5 Skewness RMS	61
4.4.6 Skewness AR	63
4.4.7 Risultati Skewness	65
5. Conclusioni	66
Bibliografia	68

1. Introduzione

L'elettromiografia (EMG) rappresenta una delle tecniche maggiormente utilizzate per la rilevazione dei segnali di movimento generati dal sistema nervoso. Viene impiegata principalmente per ricavare informazioni da poter utilizzare nell'ambito della ricerca e per fini diagnostici in ambito clinico. Inoltre, i dati ottenuti dall'elettromiografia sono sempre più utilizzati nello sviluppo di strumenti che coinvolgono l'interazione tra uomo e dispositivi. Un esempio, di grande interesse, è quello delle protesi, che utilizzano i segnali elettromiografici per il controllo protesico, in particolare, degli arti superiori e inferiori. Altri campi di applicazione, che si stanno diffondendo negli ultimi anni, includono l'interazione dei movimenti su software, videogiochi, robotica e riconoscimento del linguaggio dei segni. Il segnale EMG viene impiegato per la riproduzione di modelli delle attivazioni muscolari.

Il segnale EMG può essere acquisito con facilità tramite l'utilizzo di elettrodi superficiali. Tale metodo di prelievo non invasivo, è molto utilizzato e richiede alcune accortezze in fase di acquisizione per ridurre gli effetti di artefatti di misura e altre in fase di elaborazione. Per garantire una misura che permetta l'estrazione utile dell'informazione è infatti necessario poter avere segnali che preservino il contenuto.

Per ottenere il riconoscimento dei gesti dell'arto superiore è utile effettuare un approccio di acquisizione multicanale. Questo tipo di acquisizione è progettata per registrare contemporaneamente più misure. È utile poiché mette in relazione tra loro diverse grandezze, che permettono di ricavare le relazioni esistenti tra gli elementi che compongono l'oggetto in analisi. I dispositivi, come bracciali che effettuano la misura del segnale EMG da elettrodi superficiali (sEMG), sono utili per rendere standardizzabile il posizionamento degli elettrodi sui soggetti [1]. La standardizzazione del posizionamento è data proprio dall'armband, infatti nel dispositivo la posizione tra gli elettrodi rimane sempre la stessa. Inoltre, una volta stabilita una posizione di riferimento sull'avambraccio per l'applicazione dell'armband, si avrà che gli elettrodi saranno posti in ogni soggetto sugli stessi muscoli. Gli elettrodi dei bracciali, non essendo posizionati in uno specifico muscolo, acquisiscono i segnali dei muscoli, utili per il riconoscimento della gestualità dell'avambraccio [2]. Questa facilità di posizionamento degli elettrodi ha reso sempre più diffuso l'uso della sEMG per l'acquisizione di dati nelle interfacce uomo-macchina. Tuttavia, questo vantaggio porta ad una diminuzione della precisione rispetto al metodo tradizionale di posizionamento specifico degli elettrodi.

La selezione delle features è un elemento chiave per il riconoscimento dei gesti. Le features sono delle caratteristiche estratte dal segnale sEMG e sono

utili per l'analisi e la classificazione dei dati acquisiti poiché contengono le informazioni del segnale. Negli anni, sono state considerate molte features e gruppi di features, e la loro accuratezza nella classificazione dei gesti è stata analizzata estensivamente. Le features utili per l'elettromiografia possono essere raggruppate in 3 categorie principali: nel dominio del tempo, nel dominio della frequenza e nel dominio del tempo-frequenza [3]. Le features che sono state considerate in questo lavoro appartengono al dominio del tempo nell'ar [4]. I valori ottenuti dalle features servono per poter valutare come la risoluzione del convertitore analogico-digitale dello strumento di misura, in questo caso l'EMG arm band dell'OYMotion®, influenzi i dati acquisiti a differenti condizioni di risoluzione. Il confronto tra i valori ottenuti dalle features acquisite a risoluzioni differenti è fondamentale per giudicare la convenienza che si può avere nell'acquisire un segnale elettromiografico ad una risoluzione superiore rispetto ad una inferiore. In particolare, si vuole evidenziare se il contenuto informativo sul segnale si preserva anche se viene utilizzata una bassa risoluzione. Il lavoro che segue vuole proprio analizzare questo aspetto, e quindi evidenziare le differenze che si ottengono in acquisizioni effettuate a risoluzioni differenti. Questo permetterà di capire la reale fattibilità di una possibile applicazione di riconoscimento dei gesti con

dispositivi indossabili, commerciali anche in condizioni di scarsa qualità del convertitore A/D.

2. Modello e dispositivo di acquisizione

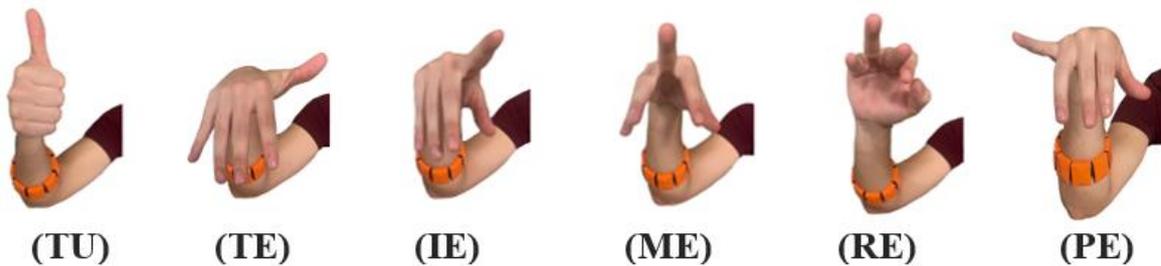
2.1 Soggetti e gesti

Sono stati presi in esame dieci soggetti per lo studio in analisi, di cui 7 soggetti destri e 3 mancini, l'età media dei soggetti è di 23.3 ± 2.5 anni, nessuno dei quali presenta una storia patologica degli arti superiori che può interferire nelle misurazioni acquisite. Sono stati considerati un totale di 20 gesti (Figura 1) [3], [5] di cui: 16 gesti di movimento (Figura 1a, 1b e 1c) e 4 gesti di prese (Figura 1d). I gesti di movimento possono essere raccolti in tre gruppi:

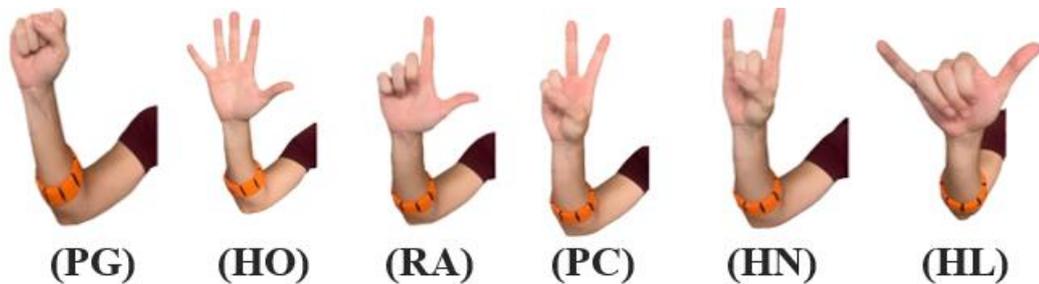
1. Il primo gruppo (Figura 1a) raccoglie 6 gesti che rappresentano i movimenti di singole dita: Thumb Up (TU), Thumb Extension (TE), Index Extension (IE), Middle Extension (ME), Ring Extension (RE) e Pinky Extension (PE).
2. Il secondo gruppo (Figura 1b) raccoglie 6 gesti che rappresentano i movimenti di più dita contemporaneamente: Power Grip (PG), Hand Open (HO), Right Angle (RA), Peace (PC), Horn (HN) e Hang Loose (HL).

3. Il terzo gruppo (Figura 1c) raccoglie 4 gesti che rappresentano i movimenti del polso: Wrist Extension (WE), Wrist Flexion (WF), Ulnar Deviation (UD), Radial Deviation (RD).

I 4 gesti di prese sono: Large Grasping (LG), Small Grasping (SG), Ring Grasping (RG) e Pinch Grasping (PIG).



(a)



(b)



(c)

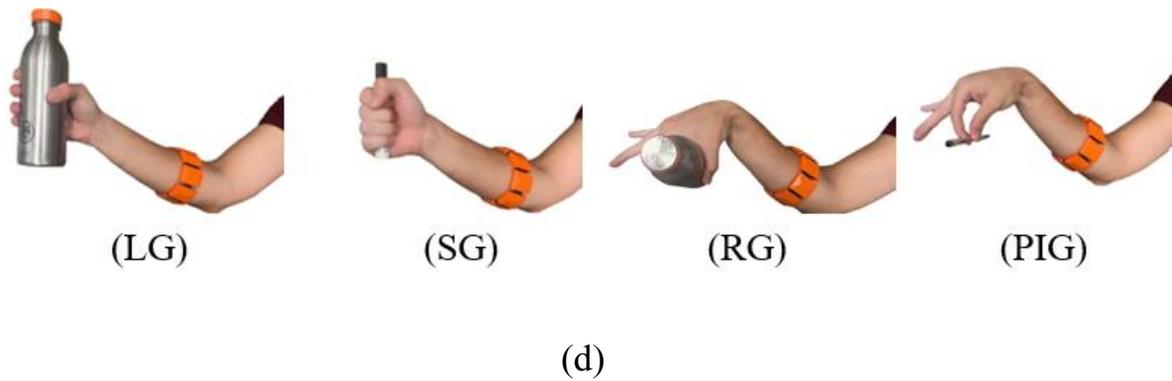


Figura 1: Illustrazione dei 20 gesti presi in analisi, divisi in 4 raggruppamenti: raggruppamento 1 movimenti di singole dita (a), raggruppamento 2 movimenti di più dita (b), raggruppamento 3 movimenti del polso (c), raggruppamento 4 gesti di prese (d).

2.2 Dispositivo di acquisizione

I segnali elettromiografici sono stati acquisiti tramite l'EMG arm band dell'OYMotion®, un dispositivo costituito da otto canali che acquisiscono i dati EMG in tempo reale. Il dispositivo può acquisire il segnale a diverse frequenze di campionamento e con risoluzioni differenti. In particolare, può acquisire ad una risoluzione di 8 bit con una frequenza di campionamento massima di 1 KHz e ad una risoluzione di 12 bit con una frequenza di campionamento massima di 500 Hz. L'armband è stata indossata da ciascun soggetto sull'avambraccio nella stessa posizione, con il primo sensore posizionato rispetto all'articolazione radio-omerale, come descritto dalle raccomandazioni di posizionamento descritte in [6]. Nella figura di seguito (Figura 2) viene riportato un esempio di segnale di un'acquisizione, dove sono chiaramente visibili le fasi di attivazione e quelle di riposo.

Fase di
attivazione

Fase di
riposo

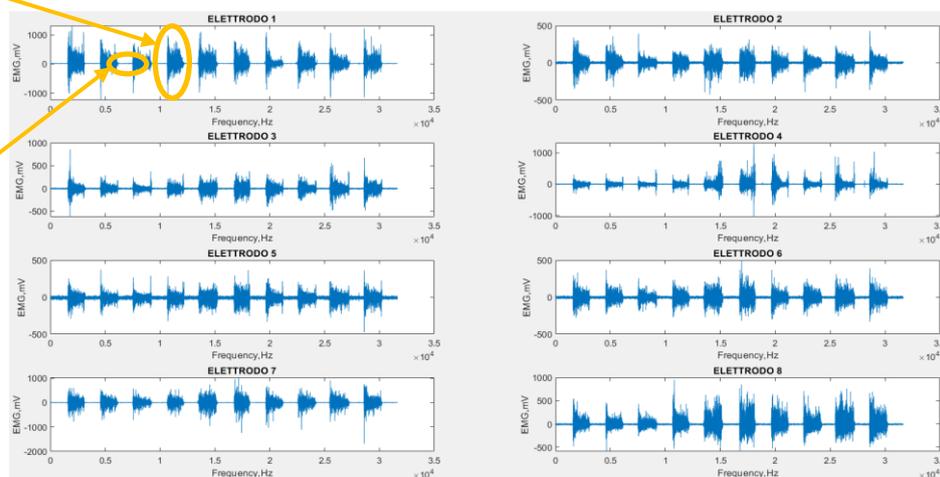


Figura 2: Segnale di un'acquisizione

2.3 Protocollo di misura

Il protocollo considerato, così da rendere ripetibili le acquisizioni, è strutturato nel seguente modo: ogni volontario ha eseguito 10 ripetizioni consecutive dello stesso gesto per una durata di circa 3 s per ogni ripetizione, ciascuno seguita da un uguale periodo di riposo. La durata totale dell'acquisizione del gesto è di 63 s, in questo intervallo di tempo si trovano un totale di 10 fasi di attivazione dovuta alla contrazione e 11 fasi di riposo (si hanno 11 fasi di riposo poiché l'intera acquisizione ha inizio e si conclude con la fase di riposo). Le acquisizioni sono state svolte per ogni soggetto a due risoluzioni differenti: una alla risoluzione a 8 bit e l'altra alla risoluzione a 12 bit. Entrambe sono state acquisite alla frequenza di 500 Hz che consentiva l'acquisizione anche con la

risoluzione più alta. Inoltre, per rendere il modello di acquisizione ripetibile è stata standardizzata la condizione di riposo: il soggetto appoggia il gomito su di una superficie piana e mantiene il polso in una condizione di assenza di contrazione (Figura 3).



Figura 3: Condizione di riposo

3. Metodi

3.1 Signal processing

Successivamente all'acquisizione dati è necessario procedere con l'elaborazione. Il primo step da effettuare riguarda la riduzione degli effetti del rumore e degli artefatti. In questa fase è stato applicato un filtro passa banda ai segnali acquisiti. Le frequenze di taglio che sono state prese in considerazione sono: 20 Hz per la bassa frequenza e 200 Hz per l'alta frequenza. Oltre al filtro utilizzato in fase di signal processing, bisogna evidenziare la presenza di un filtro presente all'interno dell'EMG arm band dell'OYMotion®. Il segnale

grezzo che si ottiene risulta essere già filtrato da un filtro passa banda con intervallo di 20-500 Hz.

3.2 La risoluzione

Gli ADC o convertitori analogico-digitale convertono i valori di tensione in ingresso nel numero corrispondente espresso in binario. La Risoluzione (R) di un convertitore A/D è definita come la minima variazione della grandezza analogica in ingresso che provoca una variazione di un LSB (Least Significant Bit= bit meno significativo) nel numero di uscita: tale variazione è definita come quanto (Q). La risoluzione R di un ADC coincide, dunque, col quanto Q.

$$Q = \frac{V_{FS}}{2^n}$$

Con V_{FS} =Tensione di fondo scala; essa è una tensione di riferimento fornita al convertitore: essa individua il massimo valore in ingresso convertibile in binario.

Per esempio, ad una risoluzione di 8 bit corrispondono 256 numeri possibili, ossia 255 livelli tra lo zero e il fondo scala in un conteggio tra 0 e 255. Se ipotizziamo di misurare con tale convertitore una tensione con un intervallo di ingresso compresa tra 0 V e 10 V, la distanza tra un valore e l'altro è di: $10V/256=0.039 V=39 mV$. Si calcola ora la risoluzione a 12 bit considerando

la stessa tensione di ingresso compresa tra 0 V e 10 V. Per la risoluzione a 12 bit si ha 4096 numeri possibili, che corrispondono a 4095 livelli tra lo 0 e il fondo scala. Il LSB per una risoluzione di 12 bit è: $10V/4096=0.00244V=2.44mV$. Avendo considerato lo stesso intervallo di tensioni in ingresso, si può ottenere una relazione tra la risoluzione a 8 bit e a 12 bit. Il convertitore analogico-digitale all'interno dell'arm band ha sempre le stesse condizioni di tensione in ingresso; quindi, si ottiene la seguente relazione: le registrazioni effettuate a 12 bit hanno una risoluzione 16 volte maggiore rispetto a quelle effettuate a 8 bit.

3.3 Media, Varianza, Kurtosis, Skenwess

Per riuscire a confrontare i dati ottenuti, si sono calcolate la media, la varianza, la kurtosis e la skenwess per ogni feature al variare della soluzione per ciascun gesto considerato. La varianza è un indice di dispersione e rappresenta la misura di quanto i valori si discostano quadraticamente dalla media aritmetica o dal valore atteso. La Kurtosi è un allontanamento dalla normalità distributiva, rispetto alla quale si verifica un maggiore appiattimento o un maggiore allungamento della distribuzione. La skewness è un indice di asimmetria ed indica se la distribuzione dei dati è simmetrica o meno rispetto al suo valore atteso.

3.4 Determinazione delle epoche di contrazione (Finestrazione)

Per ottenere le epoche di contrazione bisogna prima ricavare un valore che viene definito come valore di soglia. La soglia è una grandezza che permette di distinguere le fasi di attivazione da quelle di riposo. La soglia viene definita con la seguente procedura:

- Si seleziona il segnale filtrato di un elettrodo, il quale presenta la migliore distinzione tra le fasi di attivazione da quelle di riposo
- Si rettifica il segnale filtrato dell'elettrodo considerato.
- Dal segnale rettificato dell'elettrodo si considera un intervallo, che è dato dalla migliore fase di riposo presente nel segnale considerato (nella Figura 4 è riportato un esempio dell'intervallo considerato)
- Da questo intervallo preso in analisi si fa la media dei valori e si calcola la deviazione standard.
- Il valore ottenuto dalla somma della media con la deviazione standard è proprio il valore di soglia

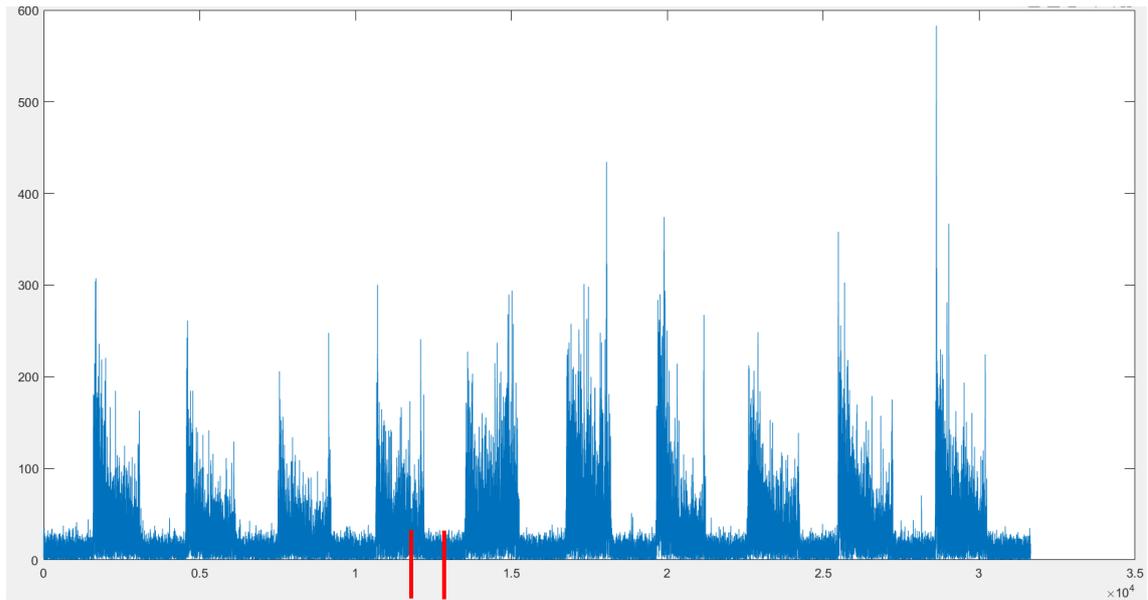


Figura 4: Segnale rettificato dell'elettrodo scelto. In rosso è posto in evidenza l'intervallo selezionato.

Definita la soglia, si cercano tutti i valori del segnale filtrato rettificato che sono maggiori della soglia. Così facendo si ottiene un vettore al cui interno si trovano i campioni che rappresentano le fasi di attivazione.

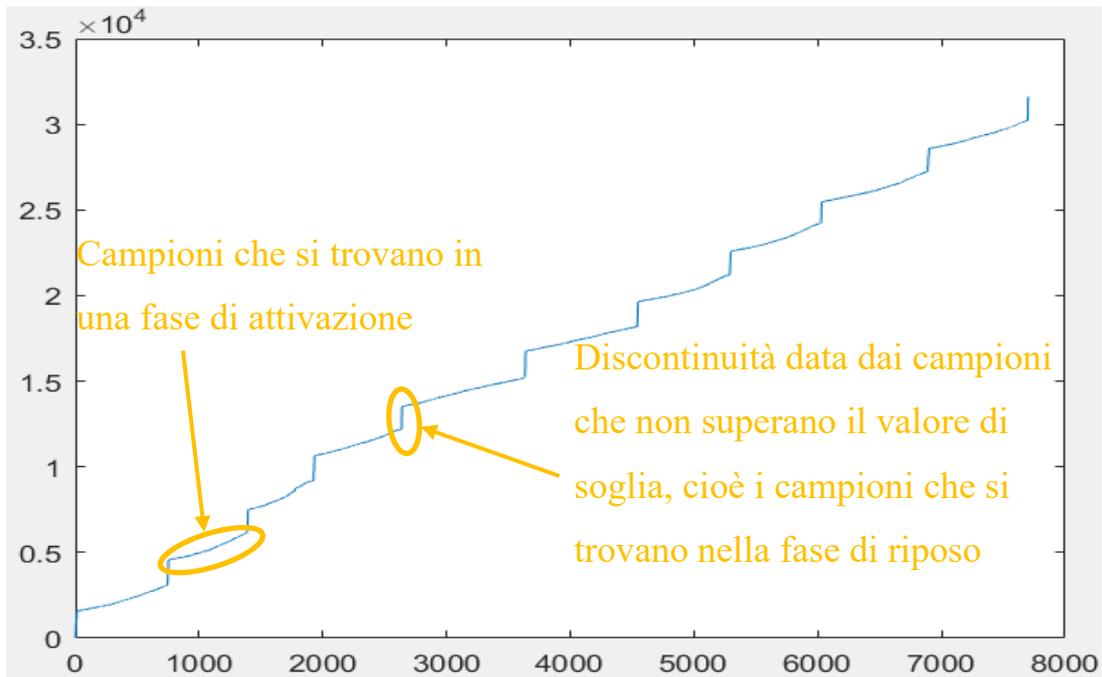


Figura 5: Rappresentazione delle fasi di attivazione

3.5 Estrazione delle features

Il calcolo delle features si esegue considerando 9 intervalli di riferimento del segnale filtrato tra i 10 individuati. Vengono considerati 9 intervalli perché non si sono prese in considerazione le prime due fasi di riposo e la prima fase di attivazione. Quindi si considerano 9 fasi di riposo e 9 fasi di attivazione. In ogni intervallo vengono presi in considerazione i campioni che si trovano in una fase di attivazione e alcuni campioni della fase di riposo precedente e successiva.

Le features che sono state prese in considerazione sono le seguenti [4]:

TD Feature	Definition
Mean absolute value	$MAV_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_i(k) $
Integrated absolute value	$IAV_i = MAV_i * N$
Root <u>mean square</u> (RMS)	Media quadratica = $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}$
Zero crossing	$ZC_i = \sum_{k=1}^N f(k)$ with $f(k) = 1$ if $x_i(k) * x_i(k+1) < 0$ and $ x_i(k) - x_i(k+1) > x_{th}$
Slope sign changes	$SSC_i = \sum_{k=2}^{N-1} f[(x_i(k) - x_i(k-1)) * (x_i(k) - x_i(k+1))]$ with $f(x) = 1$ if $x > x_{th}$, 0 otherwise
Waveform length	$WL_i = \sum_{k=1}^{N-1} (x_i(k) - x_i(k+1))$
TSD Feature	Definition
Autoregressive coefficients	$x_i(k) = \sum_{j=1}^N a_j x_i(k-j)$, n^{th} order AR model

Figura 6: Features prese in analisi, dove $x_i(k)$ è il k -esimo campione del segnale, i è l' i -esimo segmento, N è il numero di campioni nel segmento i , x_{th} è la soglia.

Le features considerate nel dominio del tempo (Time-domain (TD)) sono:

- Mean Absolute Value (MAV) è calcolata facendo la media del valore assoluto del segnale e rappresenta la forza del muscolo [7].
- Integrated Absolute Value (IAV) è un indice di detenzione dell'onset. È un parametro che viene molto utilizzato per la sua detenzione con dati puliti e rumorosi.

- Root Mean Square (RMS) è una delle features più utilizzate per l'elaborazione del segnale EMG e rappresenta le variazioni di energia nel segnale [7].
- Zero Crossing (ZC) rappresenta il numero di volte che l'ampiezza del segnale EMG attraversa lo zero.
- Slope Sign Changes (SSC) rappresenta il numero di volte in cui la pendenza della forma d'onda cambia segno [8].
- Waveform Length (WL) è la lunghezza cumulativa della forma d'onda lungo il tempo [8].

Inoltre, è stata considerata una feature nel Time-serial domain (TSD) che è l'Autoregressive Coefficients (AR).

Per il calcolo delle features si sono utilizzate delle specifiche funzioni implementate in MATLAB. I parametri utilizzati in ingresso per queste funzioni sono:

- x: colonne del segnale (intervallo di riferimento)
- Winsize: dimensione della finestra (lunghezza di x)
- Wininc: distanziamento per le finestre
- Datawin: finestra per i dati (deve avere dimensioni di (winsize,1))
- Disptatus: zero per nessuna barra di attesa (impostazione predefinita)
- Order: ordine del modello AR (è stato un considerato un order=4)

- Deadzone: valore minimo di deviazione standard di una fase di riposo di un segnale.

I valori delle features che otteniamo non sono calcolate su una finestra di attivazione, ma su delle sottofinestre (sono delle porzioni più piccole di una finestra di attivazione). In ognuna di queste sono state calcolate le features e tramite lo scorrimento delle sottofinestre si sono ottenute le features di un'intera finestra di attivazione. La dimensione della sottofinestra è data dal Winsize e lo scorrimento è stato stabilito tramite il Wininc.

4. Risultati

Si analizzeranno le differenze tra i segnali acquisiti a 8 bit e a 12 bit. Questo ci permetterà di valutare la convenienza nell'acquisire un segnale ad una risoluzione superiore. Per mettere a confronto i valori ottenuti alle due risoluzioni differenti si sono utilizzati i parametri presentati nel paragrafo 3.3. I grafici che seguono sono stati divisi per gesto, features e parametro così da poter effettuare un'analisi più dettagliata. Non sono stati presi in considerazione la totalità dei gesti, ma solamente i seguenti: Hang Loose (HL), Horn (HN), Hand Open (HO), Index Extension (IE), Medium Extension (ME),

Peace (PC) e Pink Extension (PE). Le conclusioni riguardanti la convenienza nell'utilizzare una risoluzione piuttosto di un'altra sono state raccolte per parametro.

4.1 Media

Nella trattazione della Media sono stati riportati i grafici del rapporto tra le due risoluzioni, 12 bit e 8 bit, di ogni parametro considerato per tutti i soggetti al variare dei gesti.

4.1.1 Media MAV

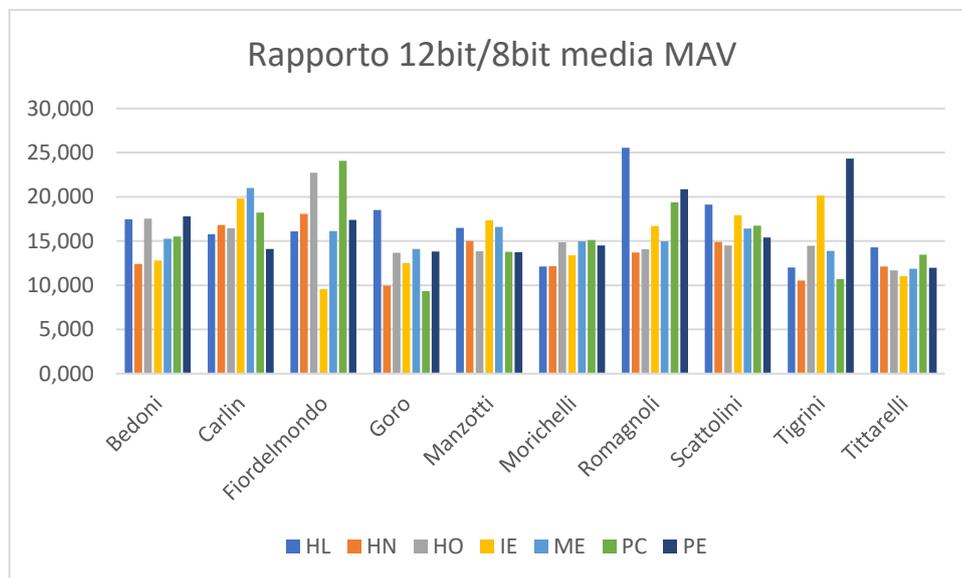


Figura 7: Rapporto 12bit/8bit della Media della MAV

Da una prima analisi di confronto tra i dati ottenuti della media della MAV si può notare come i rapporti tra le grandezze a 12 bit e a 8 bit abbiano all'incirca lo stesso valore. Infatti, i rapporti che si ottengono hanno un valore che si mantiene intorno al 15. Questo genera una relazione tra le acquisizioni dello stesso gesto effettuate a risoluzioni differenti. Inoltre, è evidente la relazione presente nei soggetti, infatti nei soggetti i valori dei rapporti mantengono all'incirca lo stesso valore.

4.1.2 Media ZC

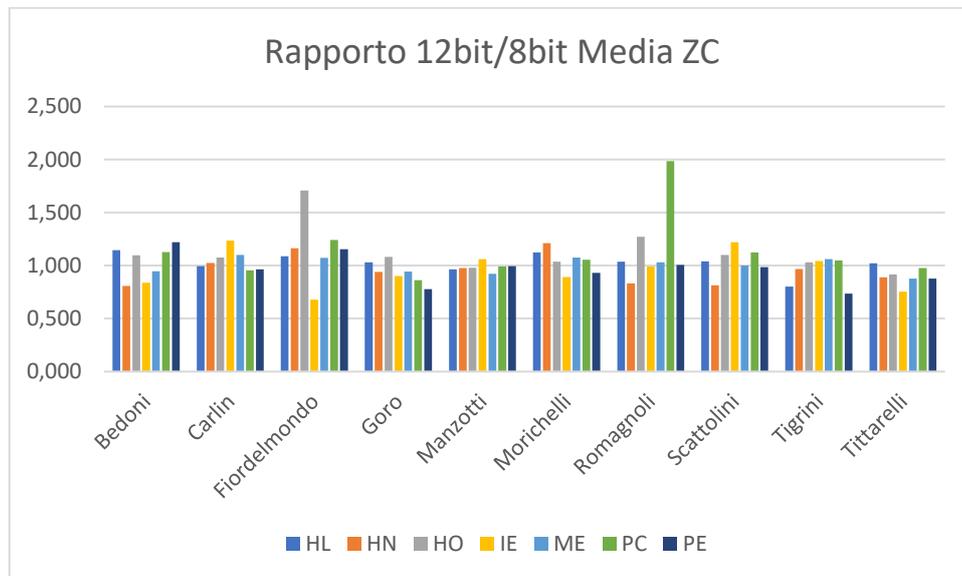


Figura 8: Rapporto 12bit/8bit della Media dello ZC

Dal grafico dei rapporti tra la due risoluzioni considerate della Media dello ZC si mette in evidenza una relazione tra le acquisizioni effettuate a risoluzioni

differenti. Si nota che i rapporti mantengono un valore sempre prossimo all'1. Questo valore permette di dire che le acquisizioni sono indipendenti dalla scelta della risoluzione e quindi non c'è convenienza nell'acquisire ad una risoluzione maggiore.

4.1.3 Media WL

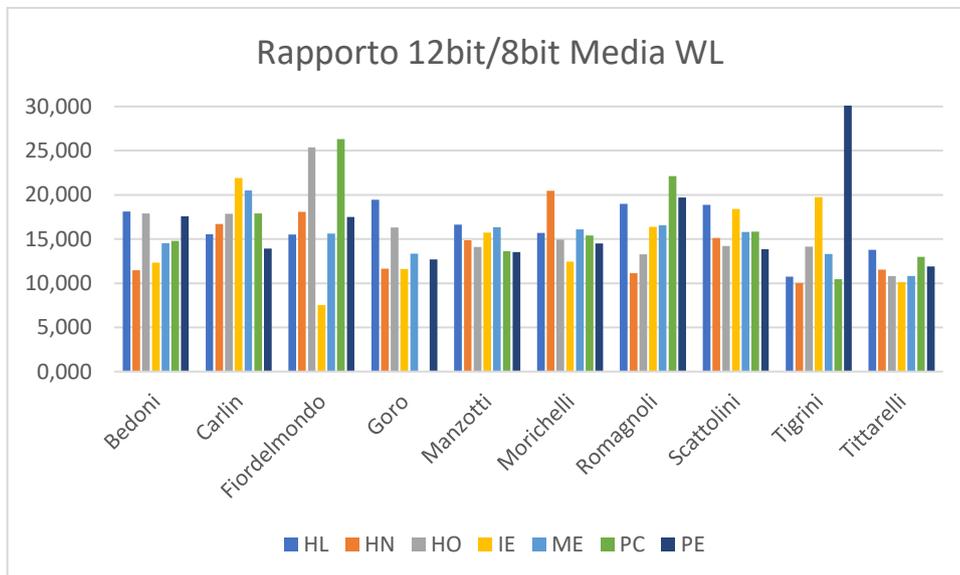


Figura 9: Rapporto 12bit/8bit della Media della WL

Dal grafico del rapporto 12bit/8bit della Media della WL, si ha un andamento simile al rapporto 12bit/8bit della Media della MAV. Infatti, anche in questo caso, i rapporti hanno un valore intorno al 15. Questo valore permette di stabilire una convenienza nella scelta di una risoluzione maggiore.

4.1.4 Media SSC

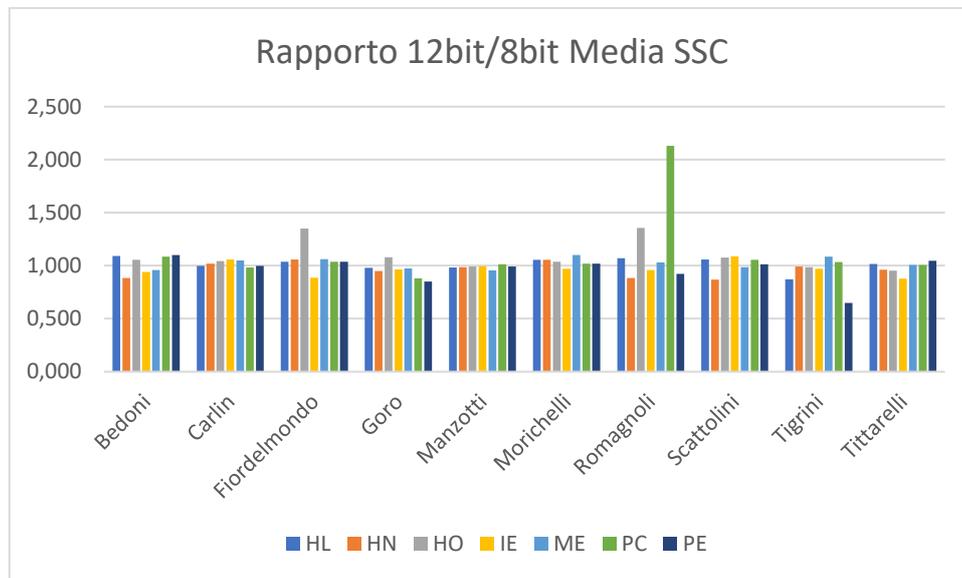


Figura 10: Rapporto 12bit/8bit della Media del SSC

Nel grafico del rapporto 12bit/8bit della Media del SSC tutti i rapporti, esclusi alcuni, hanno un valore intorno all'1. Come nel rapporto 12bit/8bit della Media dello ZC non è possibile identificare una risoluzione migliore per effettuare le acquisizioni. Quindi non c'è convenienza nell'utilizzare una risoluzione maggiore.

4.1.5 Media RMS

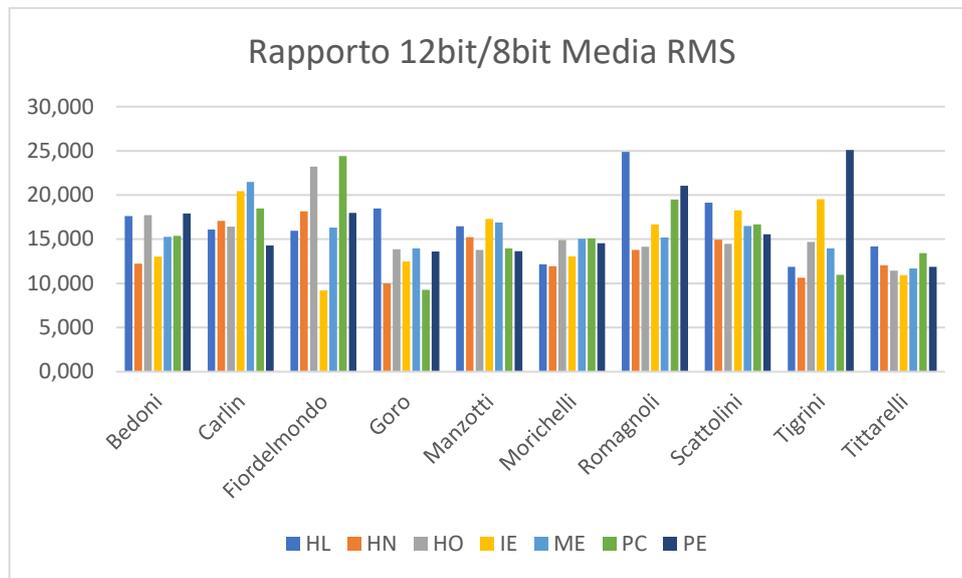


Figura 11: Rapporto 12bit/8bit della Media del RMS

I rapporti 12bit/8bit della Media del RMS hanno dei valori che oscillano intorno al valore 15, esclusi alcuni casi. Come nei casi precedenti dove si trovava lo stesso valore dei rapporti, è conveniente scegliere la risoluzione maggiore per effettuare le acquisizioni.

4.1.6 Media AR

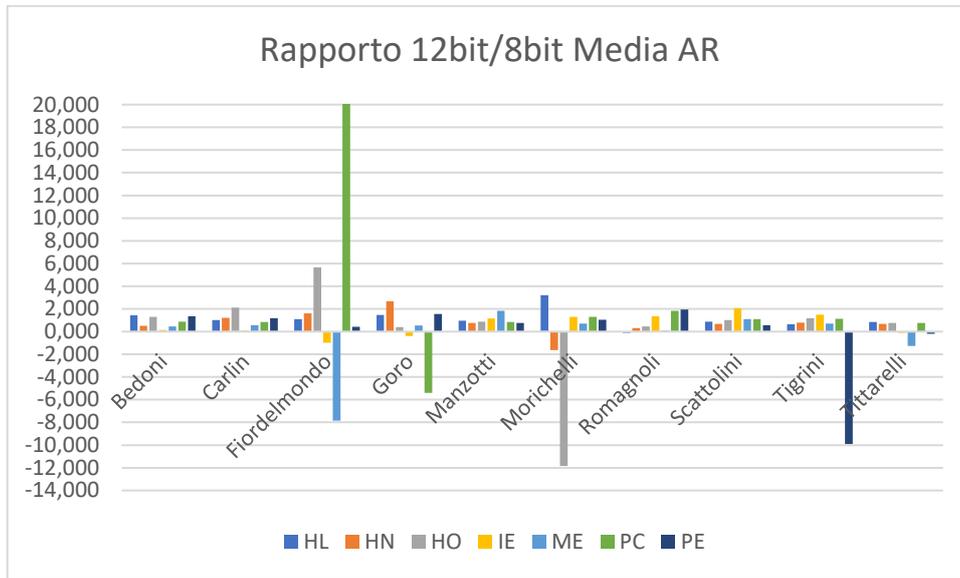


Figura 12: Rapporto 12bit/8bit della Media del AR

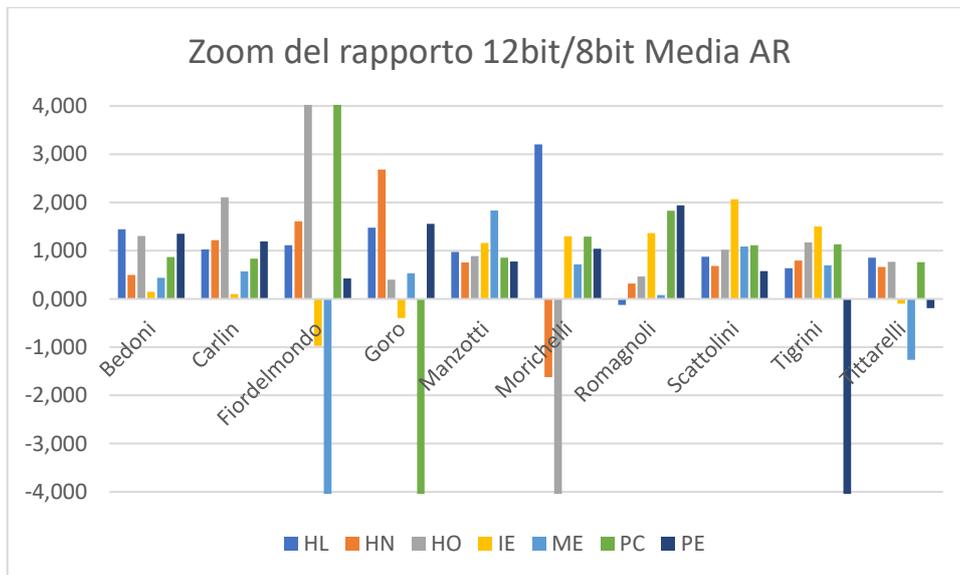


Figura 13: Zoom del rapporto 12bit/8bit della media del AR

Dallo zoom del rapporto 12bit/8bit della Media del AR è difficile trovare una relazione tra i valori ottenuti dei rapporti. È possibile evidenziare, escludendo

i picchi maggiori ed escludendo i valori dei rapporti con grandezza prossima allo 0, un andamento dei rapporti tendente al valore 1. Quindi, anche in questo caso, non è possibile evidenziare, escludendo alcuni valori, un guadagno nell'effettuare acquisizioni ad una risoluzione superiore.

4.1.7 Risultati Media

In conclusione, valutando i valori ottenuti della Media delle varie features è possibile evidenziare due tendenze. Nei casi della Media della MAV, della WL e del RMS si è notato che le grandezze ottenute dalle acquisizioni effettuate a 12 bit hanno dei valori 15 volte maggiori rispetto a quelle effettuate a 8 bit. Nei casi della Media del ZC, del SSC e del AR le grandezze sono indipendenti dalla scelta della risoluzione. Infatti, i valori ottenuti ad una risoluzione a 8 bit sono gli stessi di quelli ottenuti ad una risoluzione a 12 bit.

Considerando lo scarso guadagno che si ha ad effettuare acquisizioni a 12 bit nella Media della MAV, del WL e del RMS e il guadagno nullo nella Media del ZC, del SSC e del AR c'è poca convenienza nell'effettuare un'acquisizione con un dispositivo con maggiore risoluzione. Quindi, è più conveniente utilizzare una risoluzione ad 8 bit rispetto ad una 12 bit visto lo scarso guadagno che si ottiene.

4.2 Varianza

Nella trattazione della Varianza sono stati riportati i grafici del rapporto tra le due risoluzioni, 12 bit e 8 bit, di ogni parametro considerato per tutti i soggetti al variare dei gesti.

4.2.1 Varianza MAV

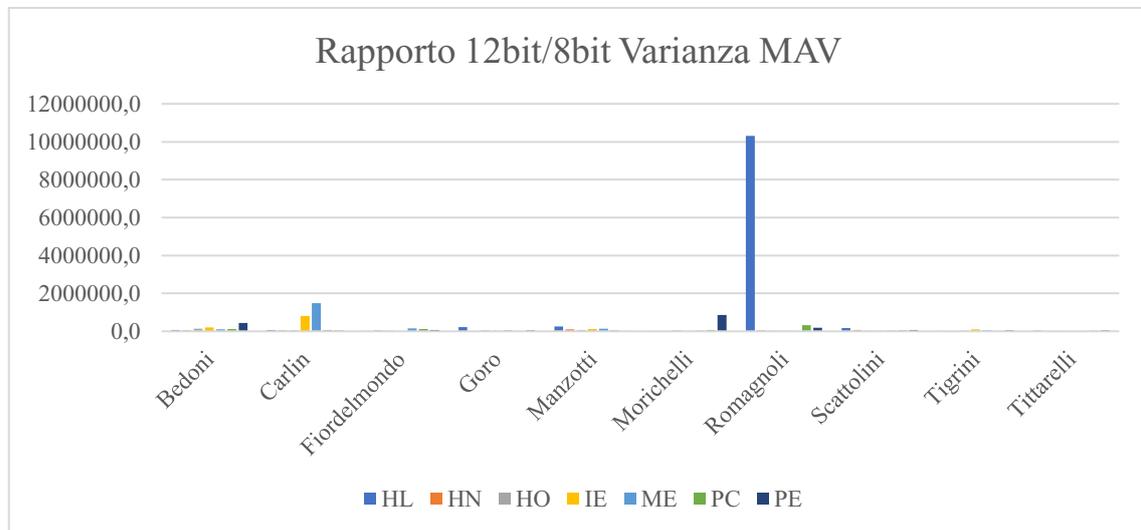


Figura 12: Rapporto 12bit/8bit della Varianza della MAV

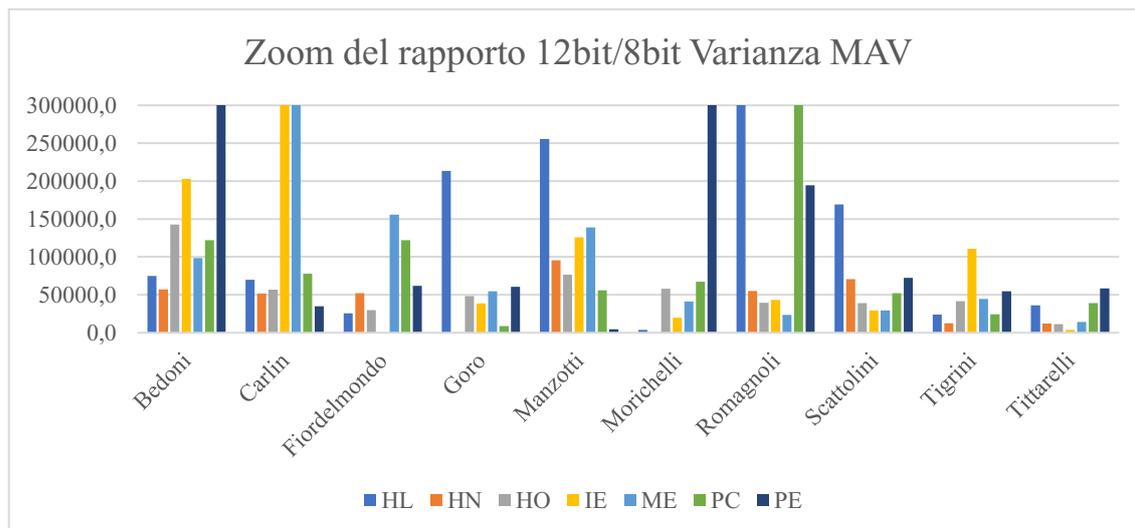


Figura 13: Zoom del rapporto 12bit/8bit della Varianza della MAV

Dallo zoom del rapporto 12bit/8bit della Varianza della MAV è evidente che al variare della risoluzione si ottengono dei valori completamente differenti. Infatti, i valori del parametro ottenuti dalle acquisizioni effettuate a 12 bit hanno dei valori molto maggiori rispetto a quelli ottenuti a 8 bit, indipendentemente dal soggetto e dal gesto considerato. A 12 bit si hanno dei valori che sono più grandi rispetto a quelli a 8 bit dell'ordine delle decine di migliaia.

4.2.2 Varianza ZC

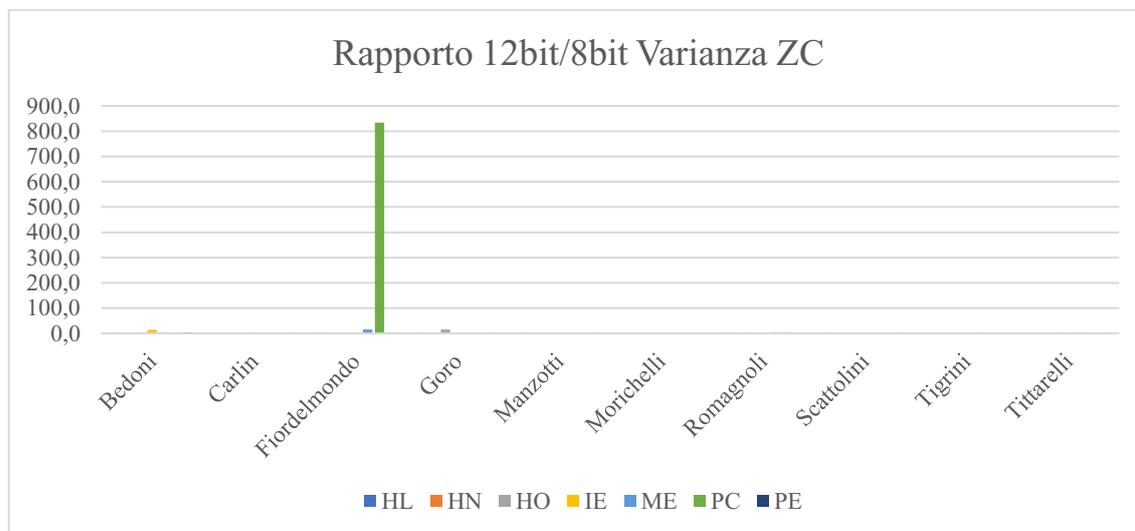


Figura 14: Rapporto 12bit/8bit della Varianza dello ZC

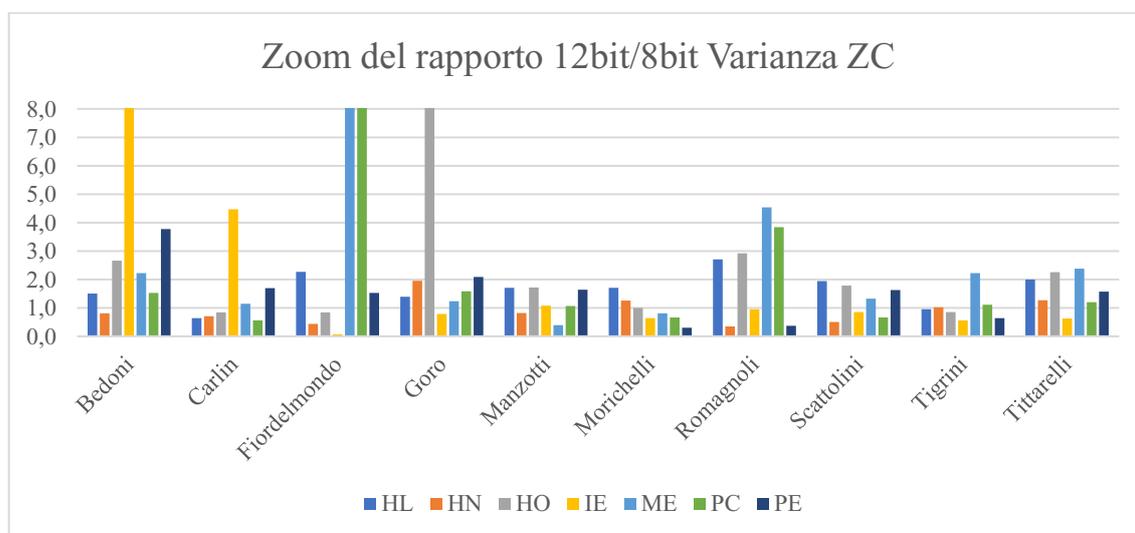


Figura 15: Zoom del rapporto 12bit/8bit della Varianza dello ZC

Dallo zoom del rapporto 12bit/8bit della Varianza dello ZC non è possibile stabilire con precisione un differente andamento al variare della risoluzione.

Infatti, i valori del parametro ottenuti dalle acquisizioni a 12 bit in alcuni casi hanno dei valori leggermente maggiori rispetto a quelli ottenuti a 8 bit, mentre in altri casi hanno dei valori leggermente inferiori. Questo non permette la scelta di una risoluzione migliore rispetto ad un'altra.

4.2.3 Varianza WL

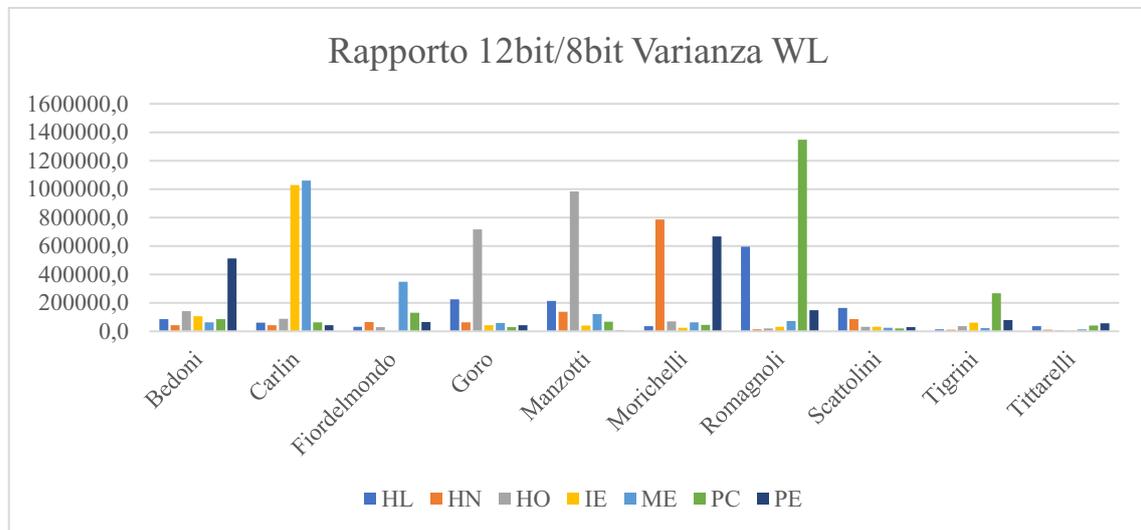


Figura 16: Rapporto 12bit/8bit della Varianza della WL

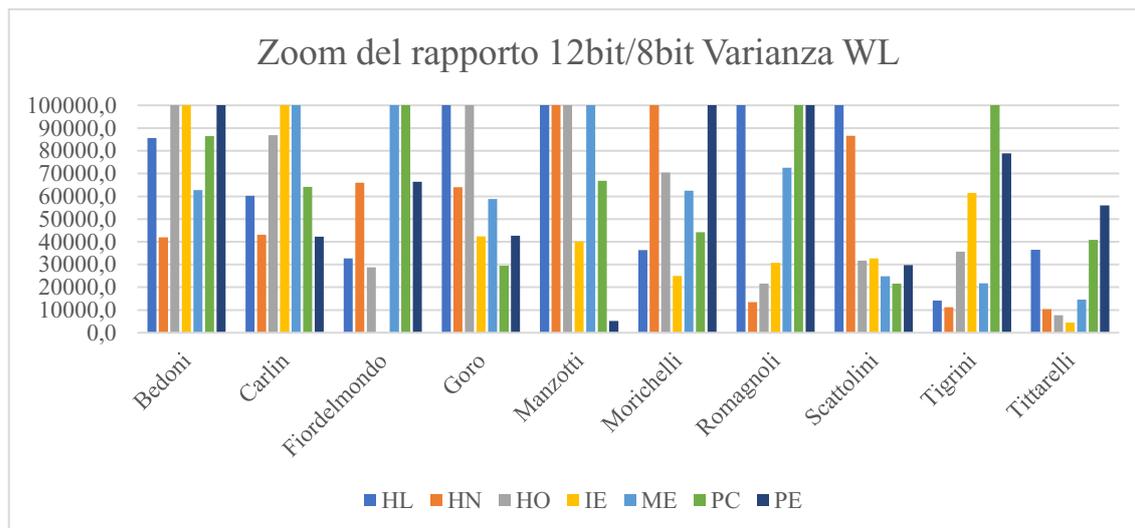


Figura 17: Zoom del rapporto 12bit/8bit della Varianza della WL

Dallo zoom del rapporto 12bit/8bit della Varianza della WL è possibile notare come i valori ottenuti dalle acquisizioni a 12 bit abbiano dei valori maggiori, dell'ordine delle centinaia di migliaia, rispetto a quelli ottenuti a 8 bit. Si può affermare che la scelta della risoluzione influisce sui valori ottenuti; quindi, c'è convenienza nello scegliere una risoluzione maggiore rispetto ad una inferiore.

4.2.4 Varianza SSC

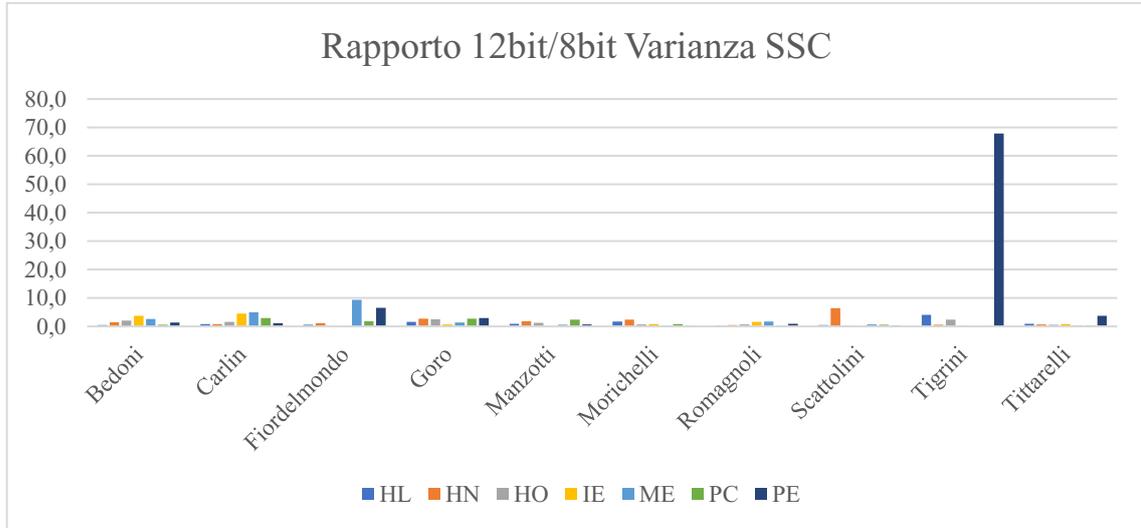


Figura 20: Rapporto 12bit/8bit della Varianza del SSC

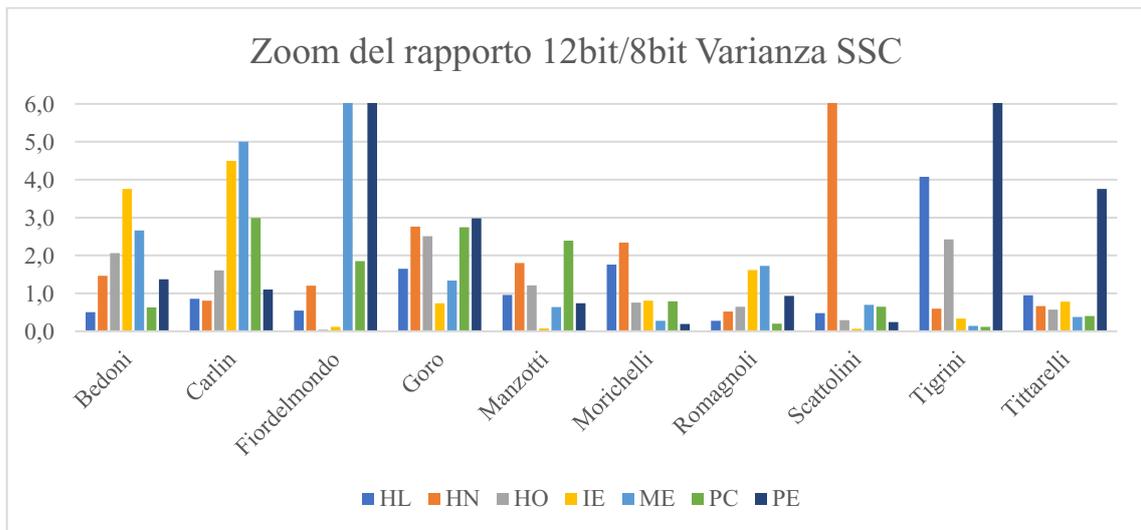


Figura 21: Zoom del rapporto 12bit/8bit della Varianza del SSC

Dallo zoom del rapporto 12bit/8bit della Varianza del SSC si nota che la scelta della risoluzione non comporta un ottenimento di valori migliori. I valori del parametro ottenuti dalle acquisizioni a 12 bit hanno delle volte valori maggiori

rispetto a quelli ottenuti a 8 bit, mentre in altri casi hanno dei valori inferiori. Quindi non è possibile stabilire una risoluzione che permetta di ottenere valori migliori.

4.2.5 Varianza RMS

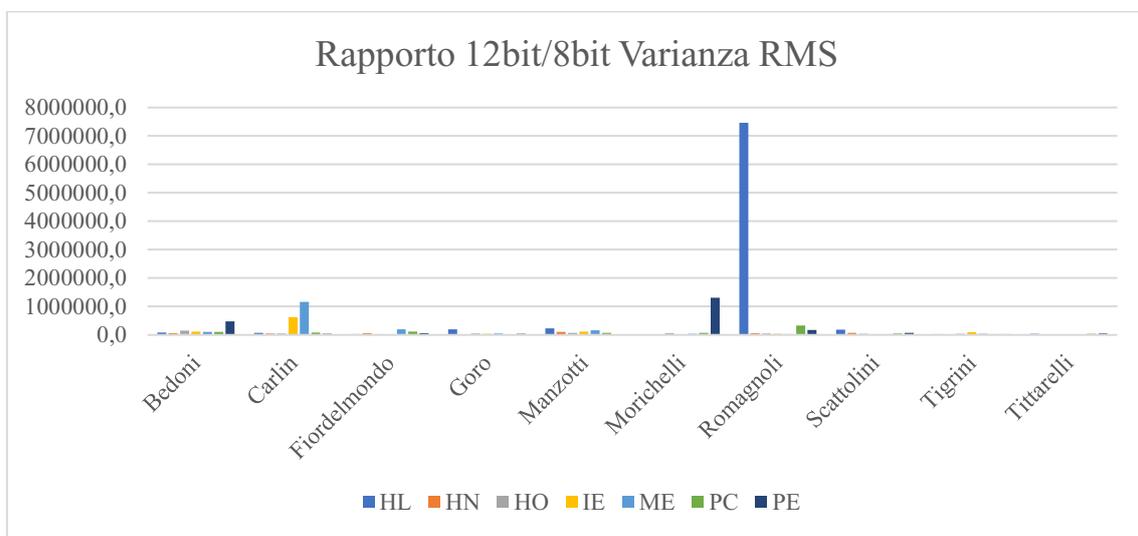


Figura 22: Rapporto 12bit/8bit della Varianza del RMS

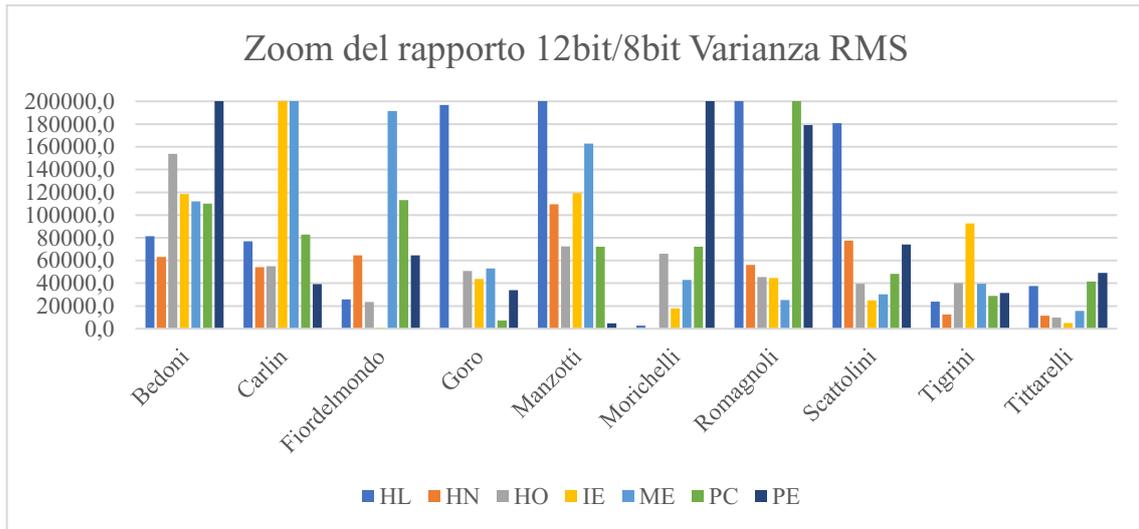


Figura 23: Zoom del rapporto 12bit/8bit della Varianza del RMS

Dallo zoom del rapporto 12bit/8bit della Varianza del RMS si può stabilire che i valori del parametro ottenuti ad una risoluzione a 12 bit siano molto maggiori rispetto a quelli a 8 bit. Anche nei rapporti non visibili nello zoom, i valori dei rapporti si aggirano intorno alle migliaia. C'è convenienza nell'acquisire a risoluzioni maggiori, in questo caso il guadagno che si ottiene dalle acquisizioni a 12 bit rispetto a quelle a 8 bit è dell'ordine delle decine di migliaia.

4.2.6 Varianza AR

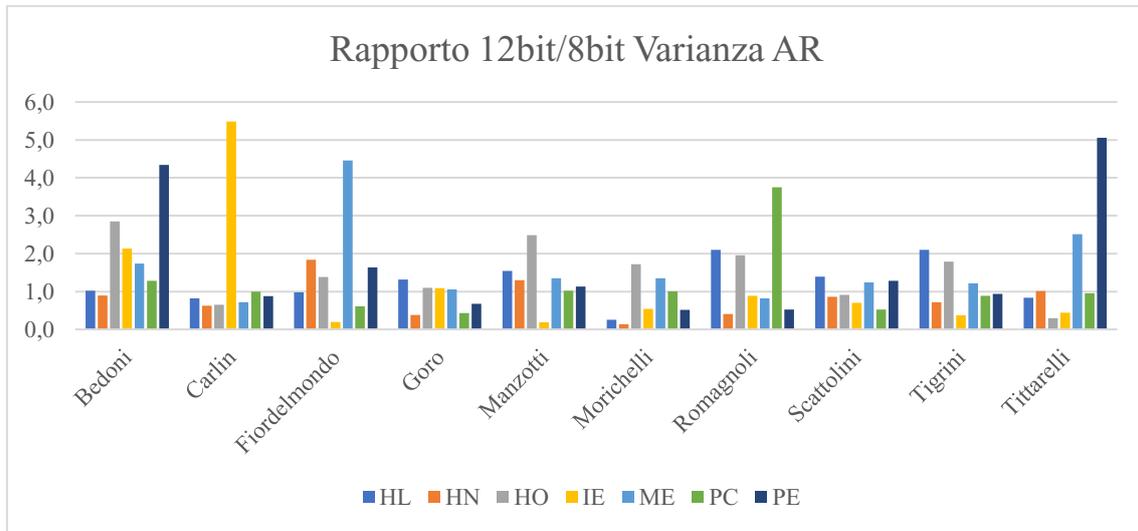


Figura 24: Rapporto 12bit/8bit della Varianza del AR

Dal grafico del rapporto 12bit/8bit della Varianza del AR non è possibile notare una risoluzione vantaggiosa rispetto ad un'altra. Il rapporto tra la risoluzione a 12 bit e a 8 bit ha un valore che si aggira intorno all'1, esclusi i picchi maggiori e le grandezze prossime allo 0. Questo fa capire che i valori del parametro che si ottengono sono indipendenti dalla scelta della risoluzione e quindi non c'è convenienza nell'acquire ad una risoluzione maggiore.

4.2.7 Risultati Varianza

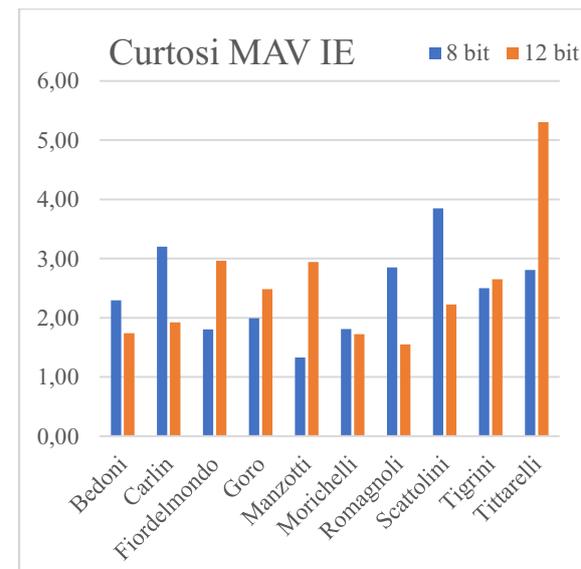
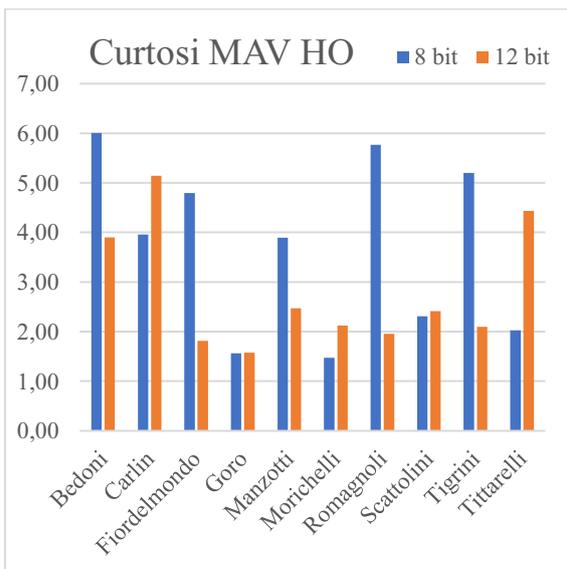
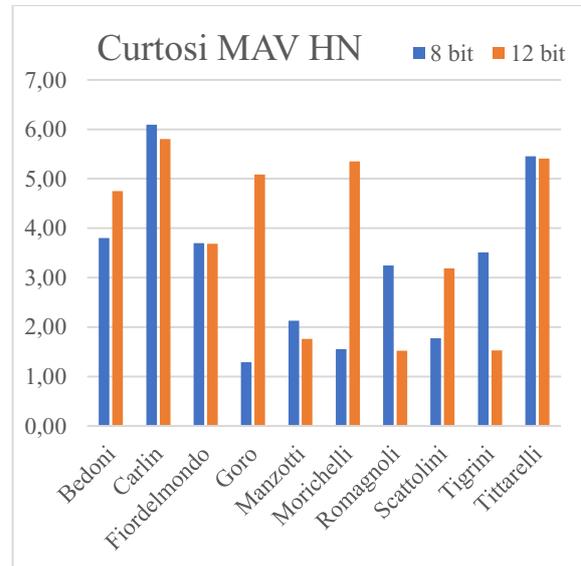
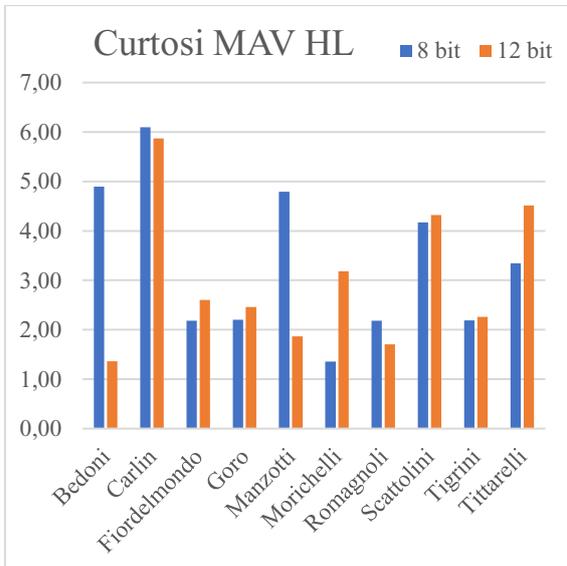
In conclusione, valutando i valori della Varianza delle varie features è possibile evidenziare due andamenti. Nel primo andamento, che riguarda la MAV, la WL e il RMS, si ha una risoluzione che prevale sull'altra; infatti, i

dati ottenuti con una risoluzione a 12 bit hanno dei valori molto maggiori rispetto a quelli a 8 bit. Questo permette di dire che è conveniente scegliere una risoluzione a 12 bit rispetto a quella a 8 bit. Invece, nel secondo andamento, che riguarda lo ZC, il SSC e il AR, non si ha una risoluzione migliore dell'altra; infatti, i valori che si ottengono dalle acquisizioni a 8 bit e quelle a 12 bit risultano essere più o meno uguali poiché il loro rapporto tende a dare un valore intorno all'1. Quindi, per il secondo andamento si trova un'indipendenza dei valori ottenuti dalla scelta della risoluzione.

4.3 Curtosi

Nella trattazione della Curtosi sono stati messi a confronto i dati ottenuti a 8 bit e a 12 bit di ogni parametro considerato per tutti i soggetti al variare dei gesti.

4.3.1 Curtosi MAV



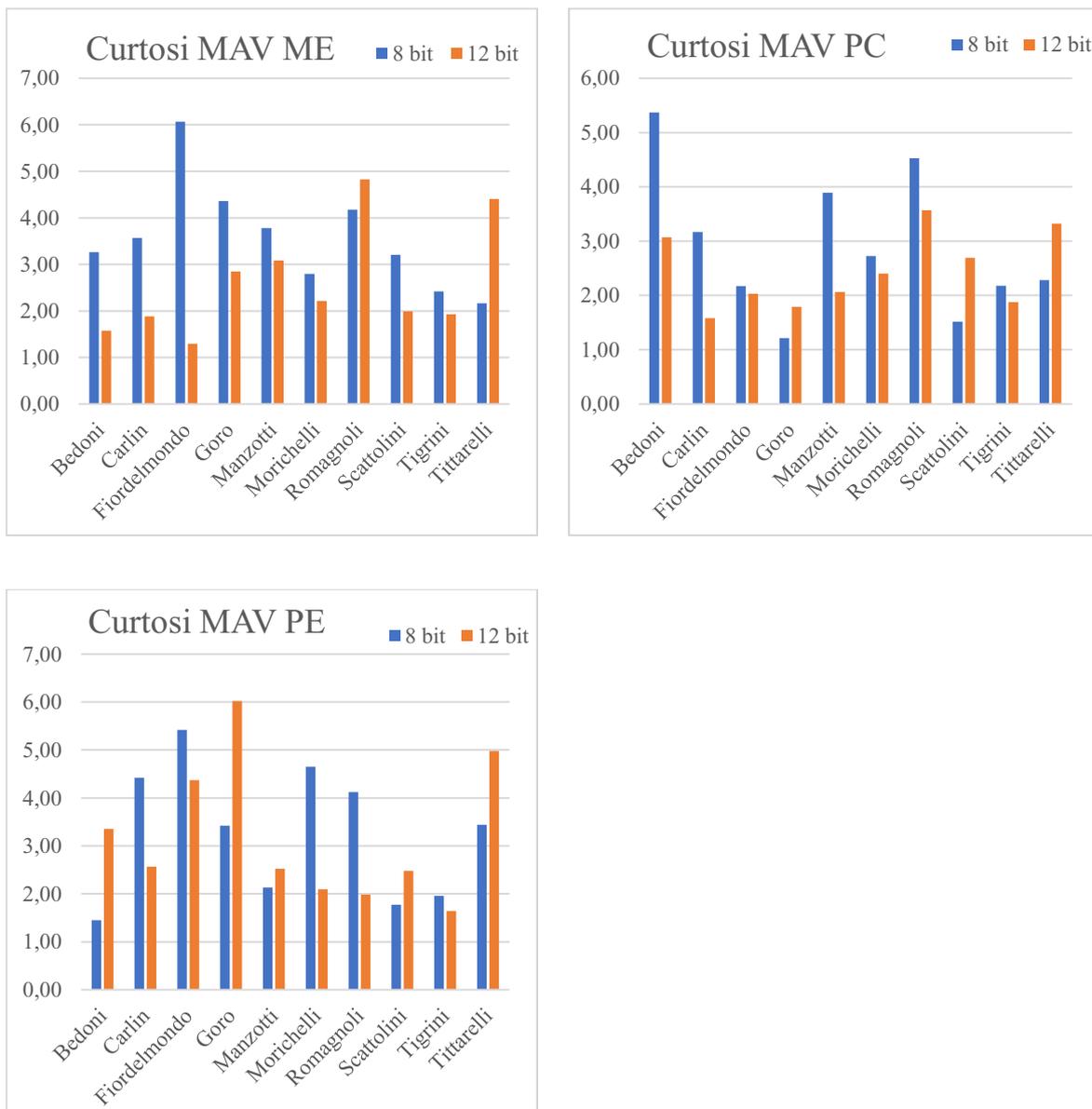
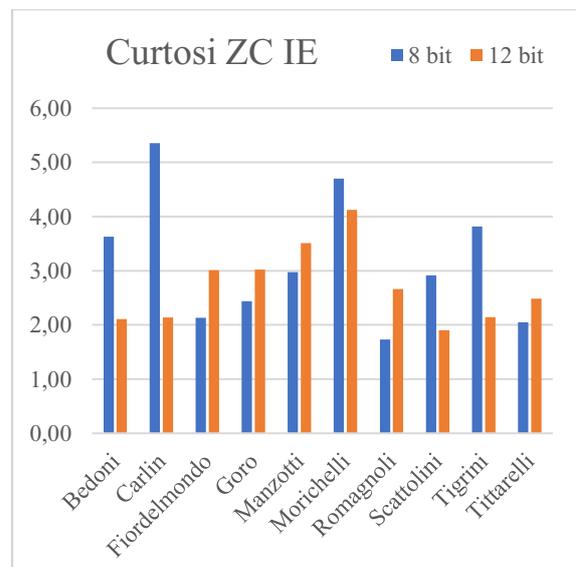
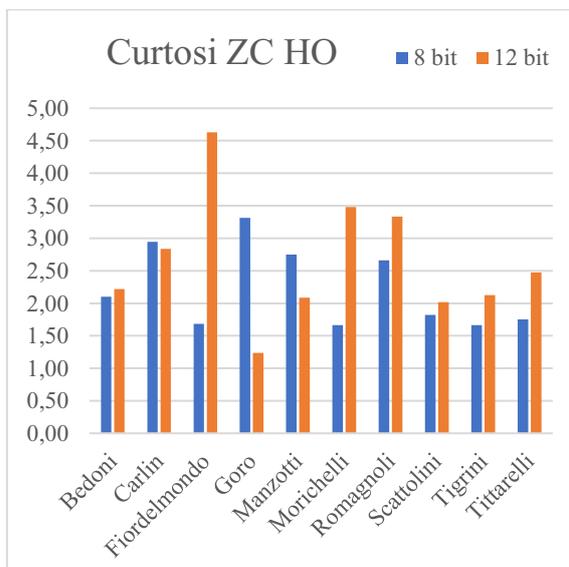
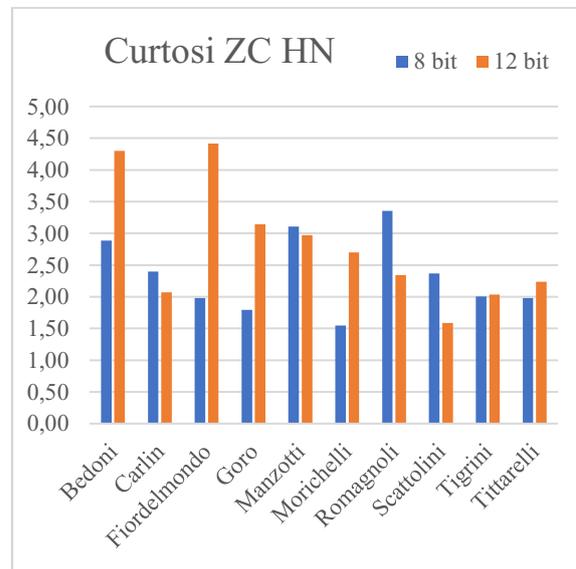
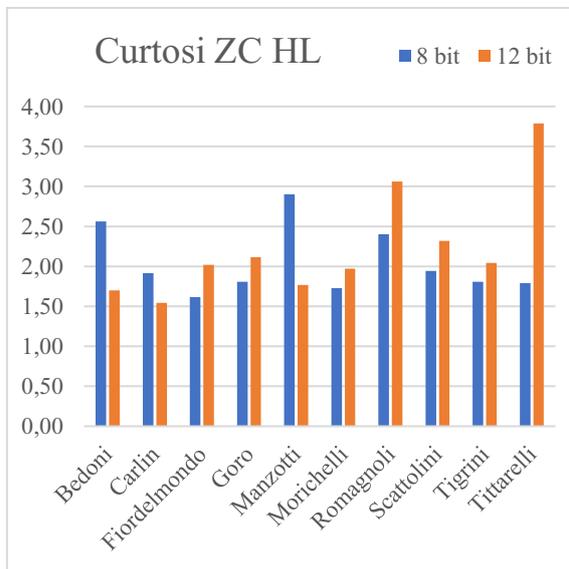


Figura 25: Grafici della Curtosi della MAV dei gesti in analisi

Dai grafici considerati della Curtosi della MAV si può notare che i valori ottenuti alle due risoluzioni tendono ad avere circa le stesse grandezze. Nei casi in cui non è visibile questa relazione, il rapporto tra le due risoluzioni assume al massimo dei valori intorno al 3. Questi valori ottenuti permettono di dire che

la Curtosi è un parametro che non dipende dalla scelta della risoluzione. Nei casi in cui i valori che si ottengono tra le due risoluzioni differiscono, non è possibile evidenziare una risoluzione in cui si ottengono grandezze superiori poiché questo andamento si alterna tra le due.

4.3.2 Curtosi ZC



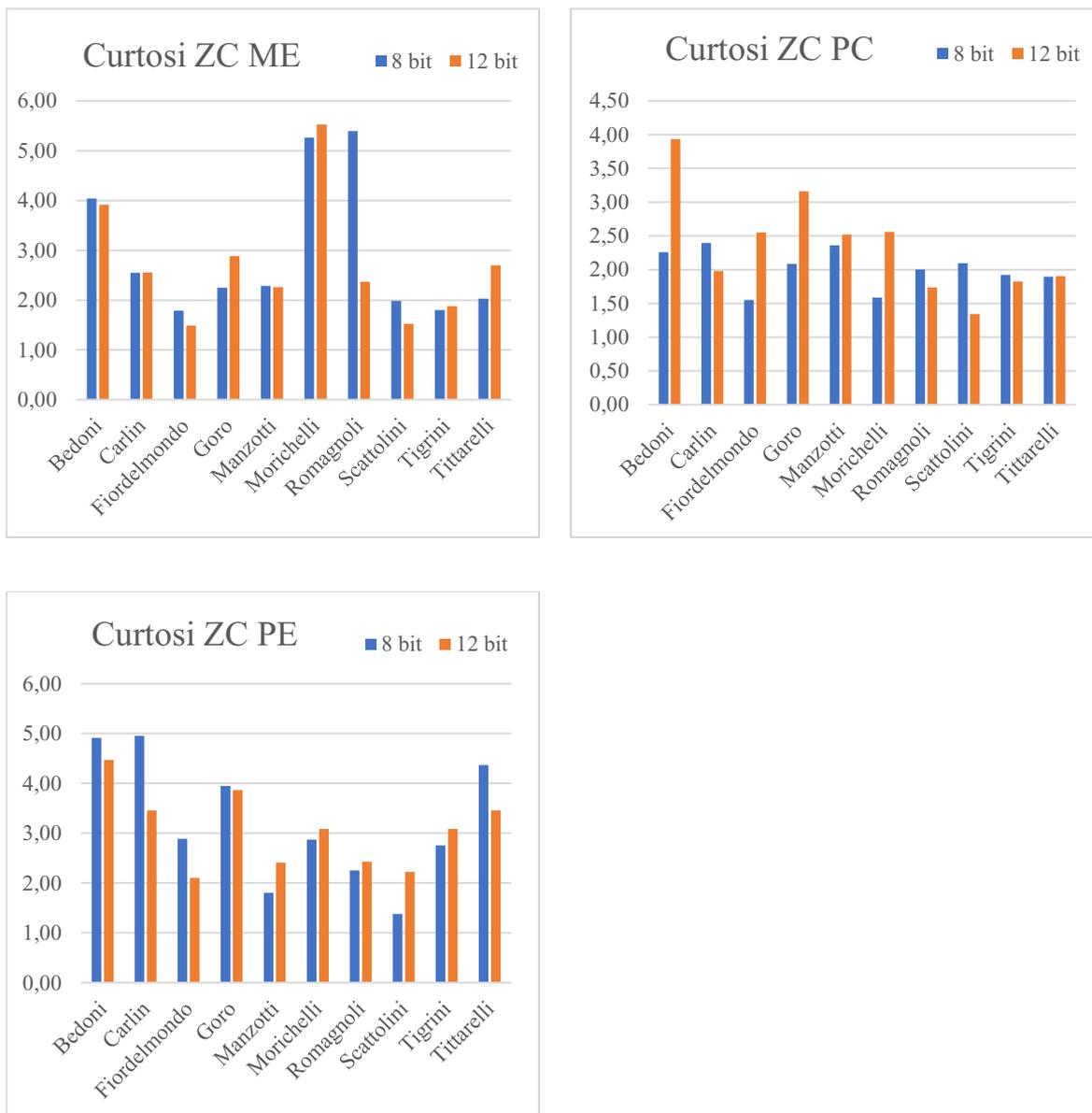
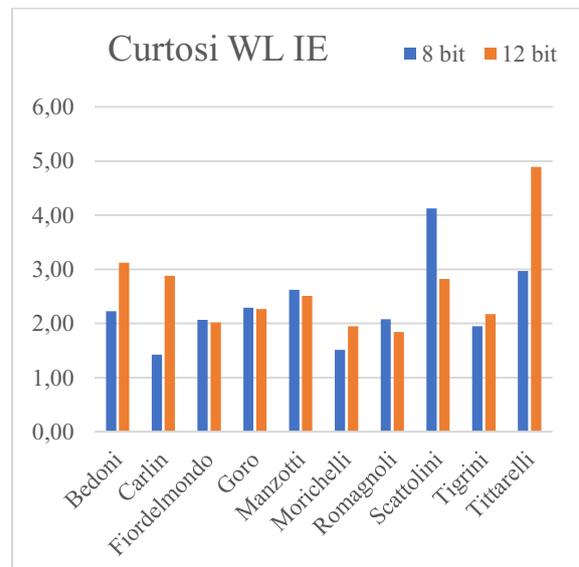
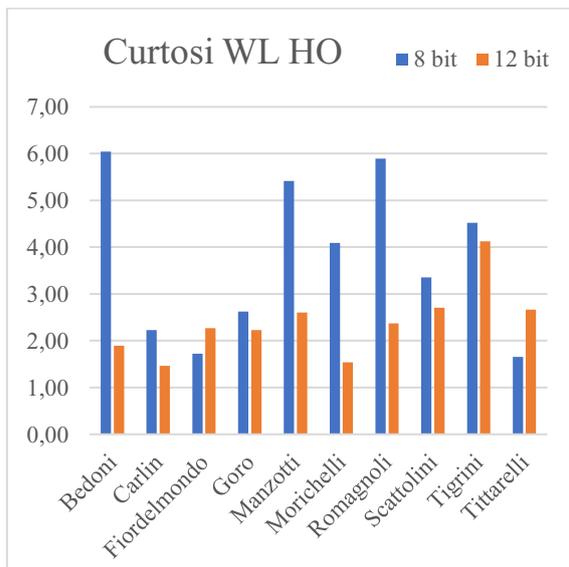
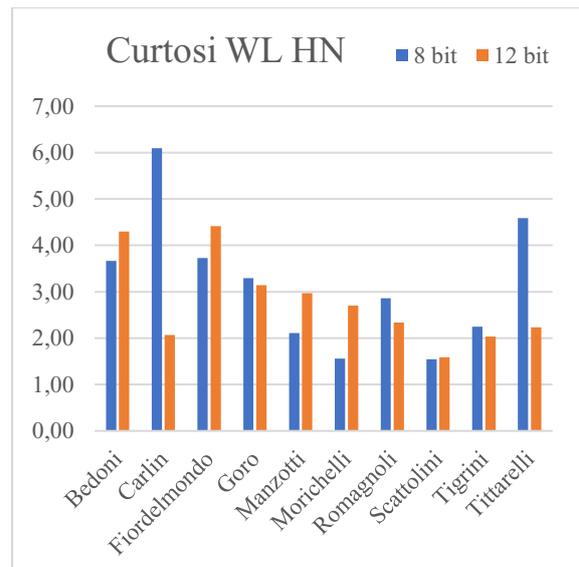
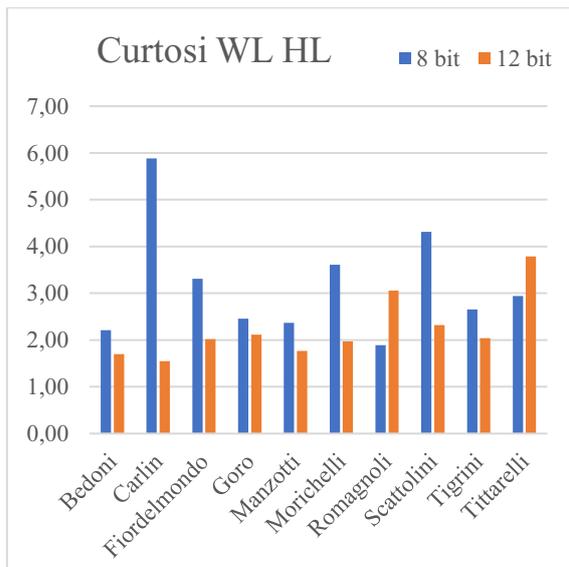


Figura 26: Grafici della Curtosi del ZC dei gesti in analisi

Dai grafici considerati della Curtosi del ZC si nota che i valori ottenuti alle due risoluzioni tendono ad avere circa le stesse grandezze, come per la Curtosi della MAV. Anche in questo caso non è possibile definire una risoluzione con cui si

ottengono valori superiori rispetto all'altra, quindi non c'è convenienza nell'acquisire ad una risoluzione maggiore.

4.3.3 Curtosi WL



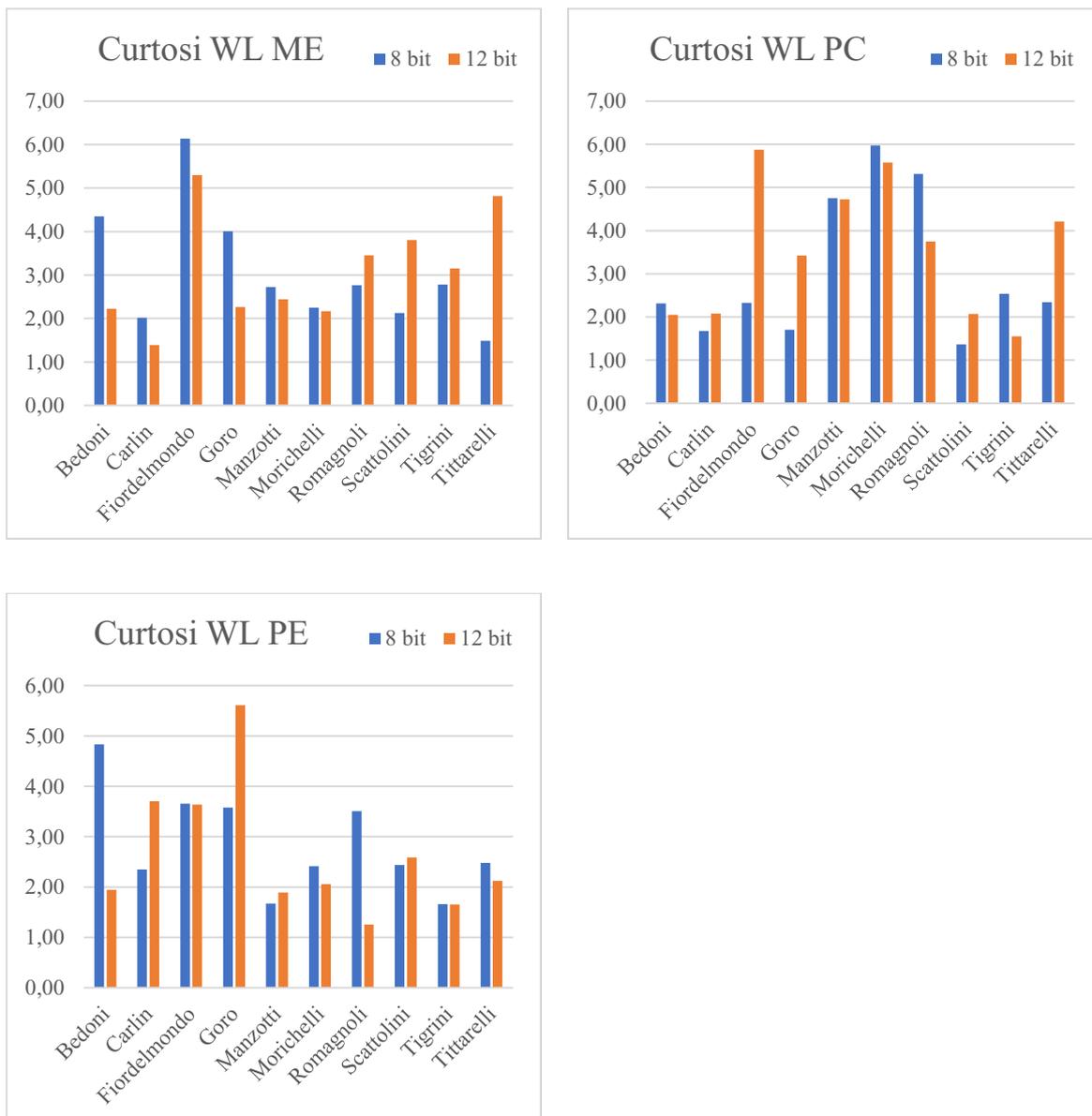
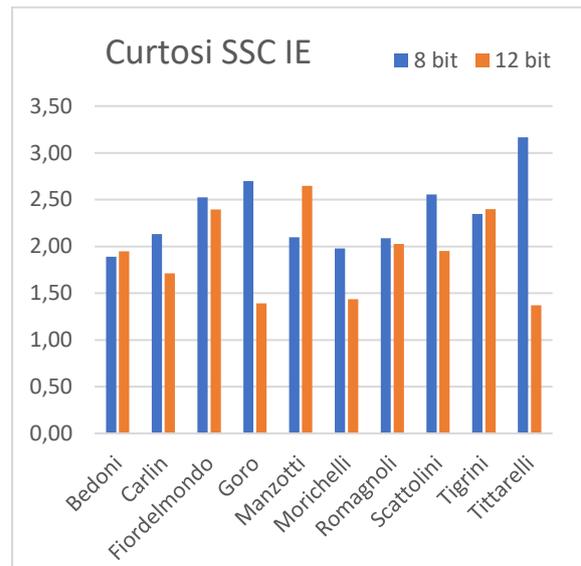
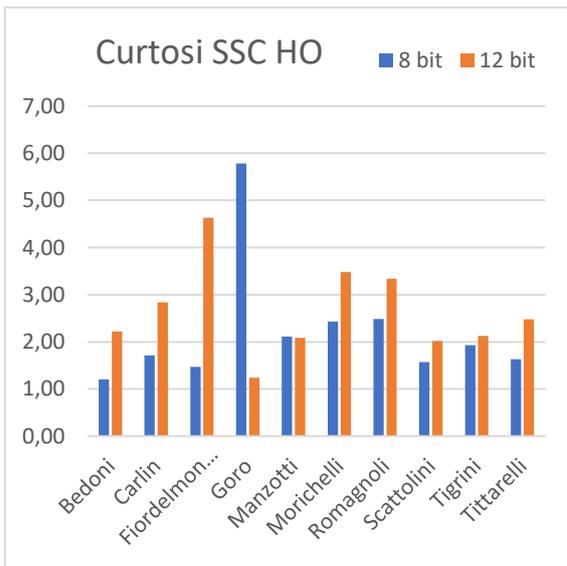
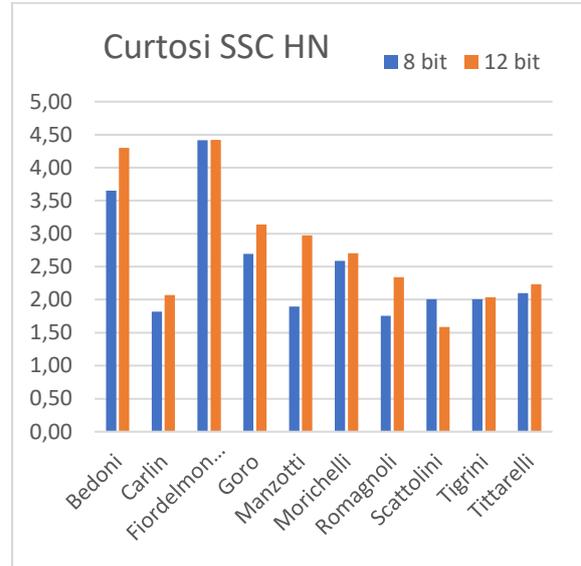
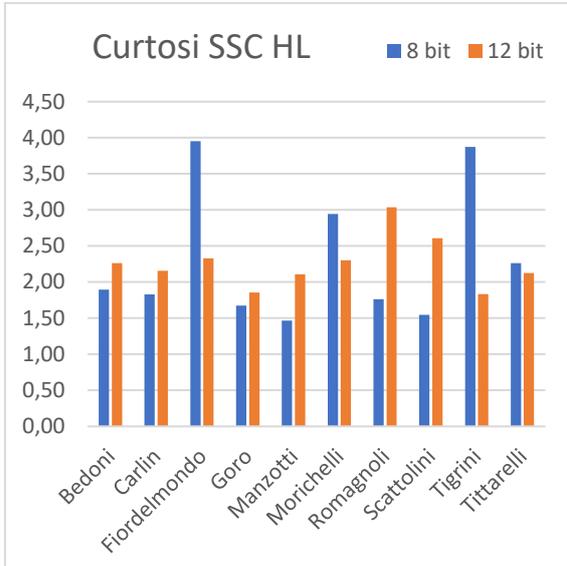


Figura 27: Grafici della Curtosi della WL dei gesti in analisi

Come nei casi precedenti di Curtosi, dai grafici considerati della WL si nota che i valori ottenuti alle due risoluzioni tendono ad avere circa le stesse grandezze. Questo non permette di definire una risoluzione più conveniente rispetto all'altra.

4.3.4 Curtosi SSC



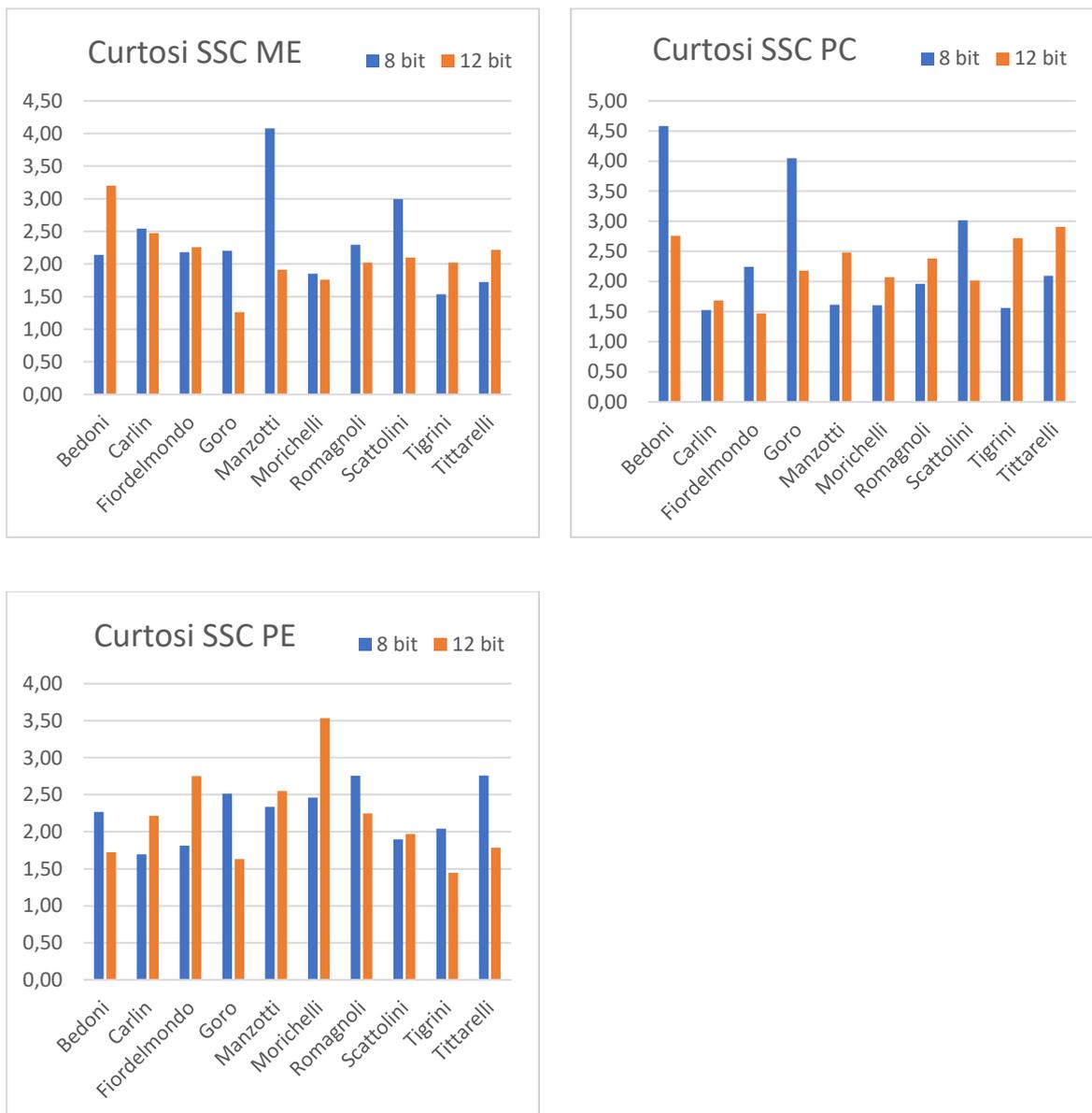
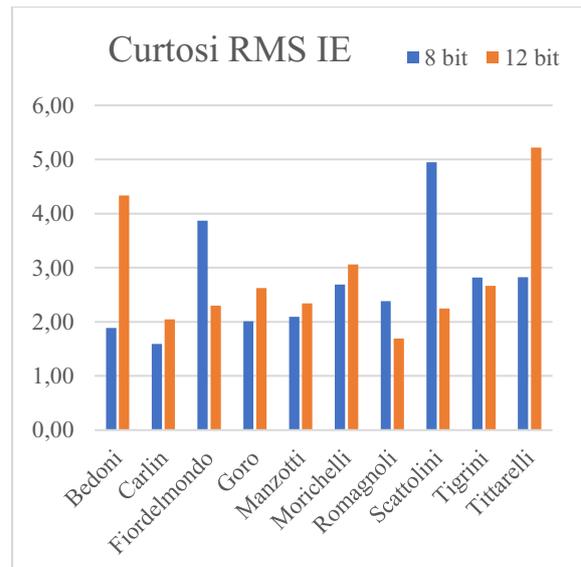
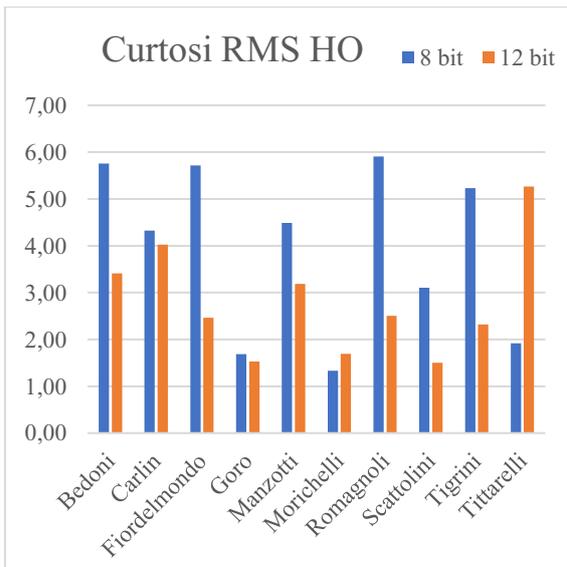
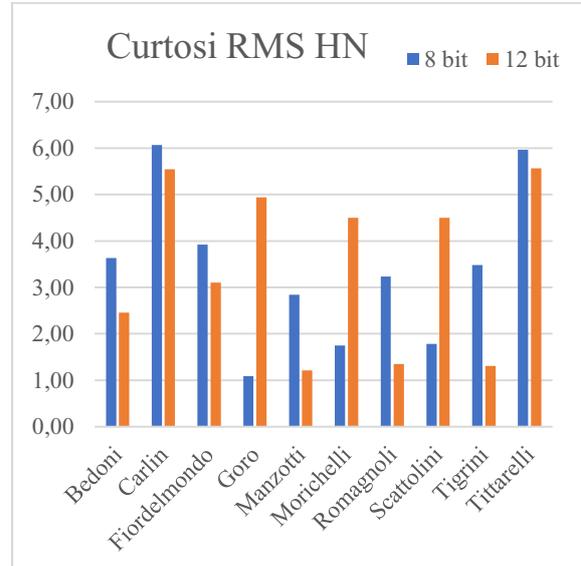
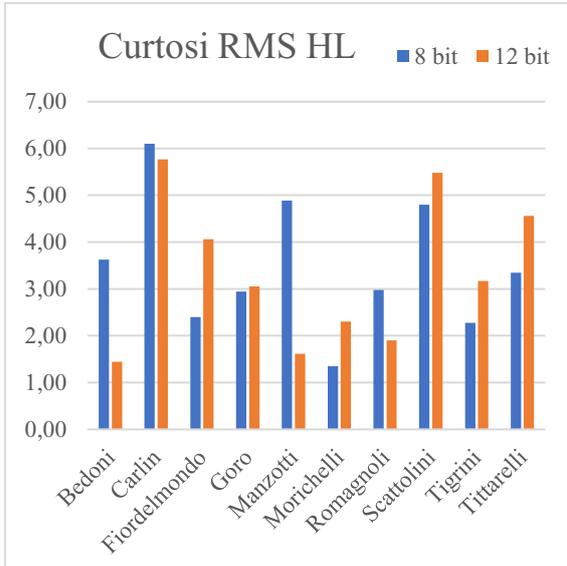


Figura 28: Grafici della Curtosi del SSC dei gesti in analisi

Dai grafici considerati della Curtosi del SSC per ogni gesto si ha lo stesso andamento trovato nei precedenti parametri della Curtosi. Quindi non è possibile definire una risoluzione più conveniente e in cui si ottengono dei valori maggiori rispetto all'altra.

4.3.5 Curtosi RMS



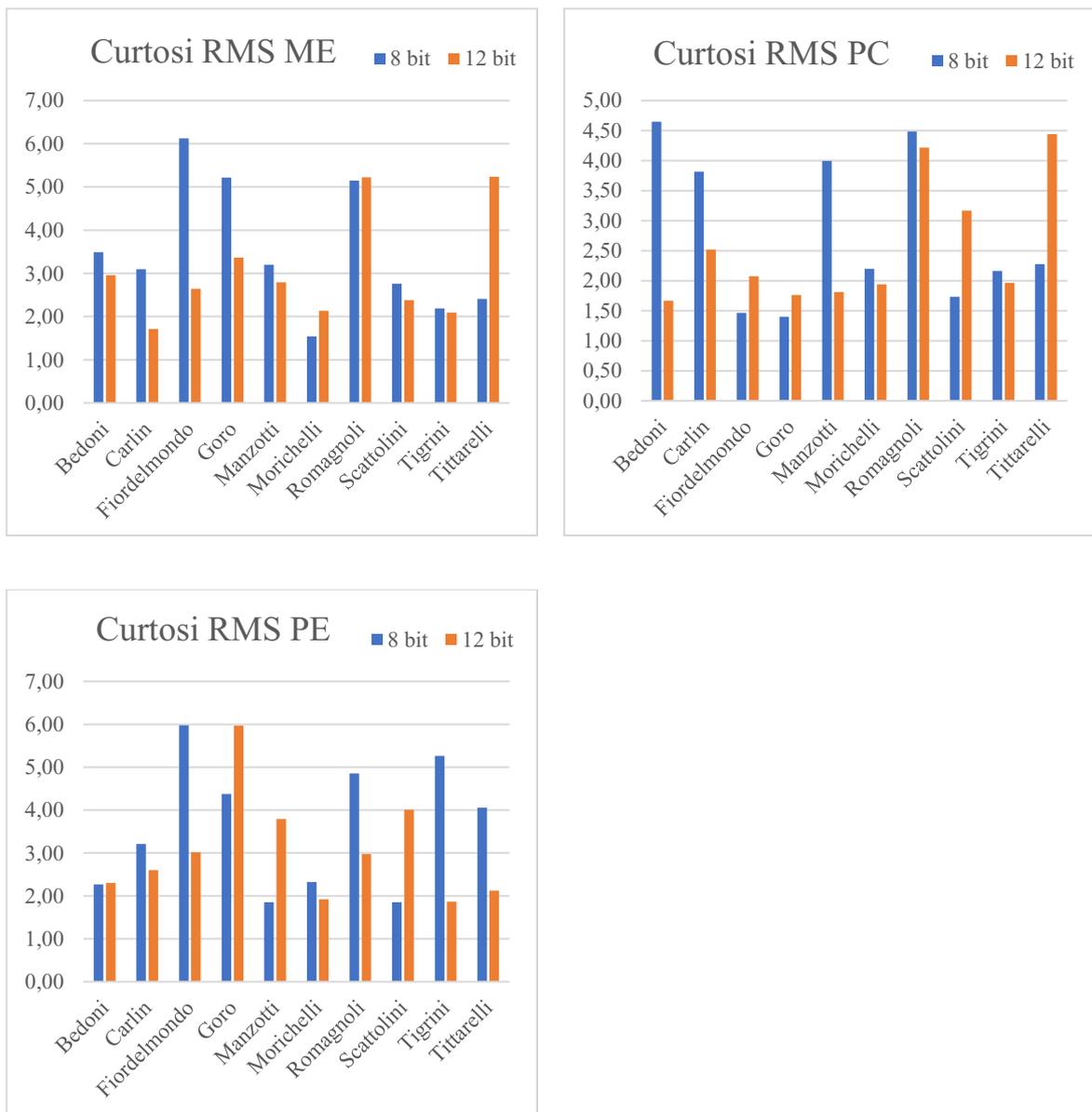
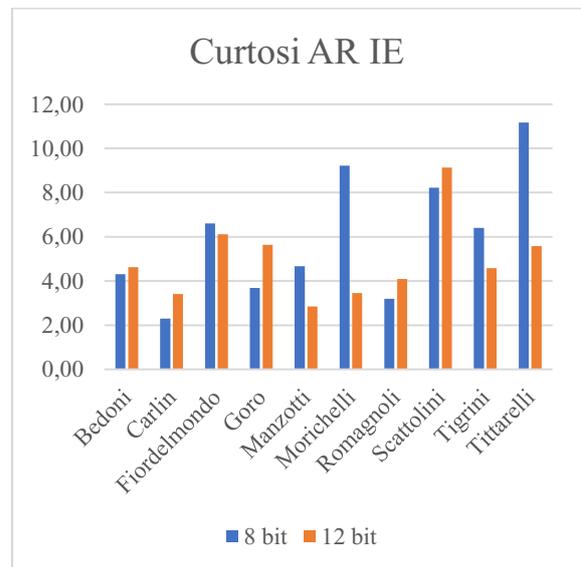
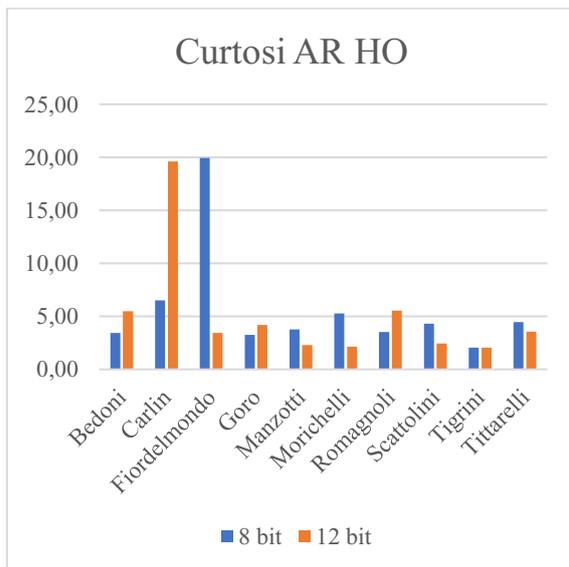
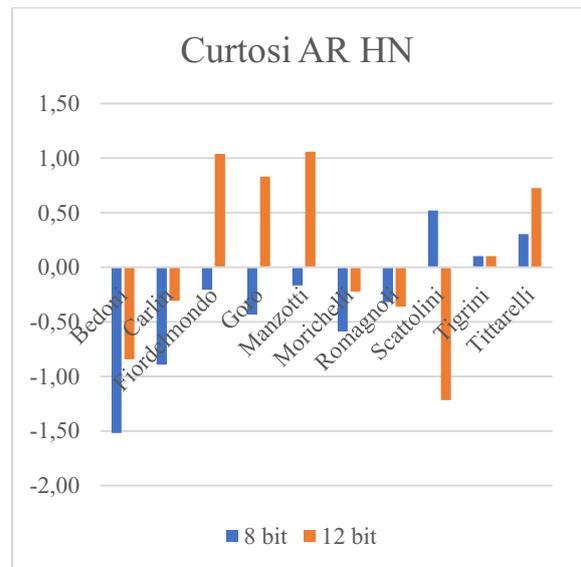
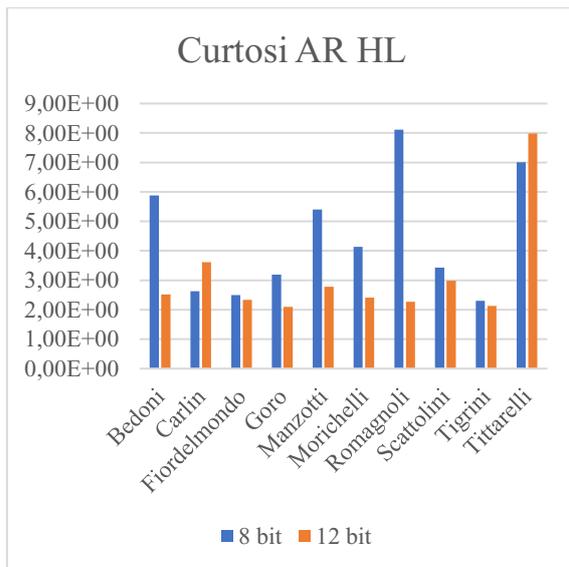


Figura 29: Grafici della Curtosi del RMS dei gesti in analisi

Dai grafici della Curtosi del RMS di ogni gesto si nota la solita tendenza trovata nella Curtosi. In un soggetto i valori tra le due risoluzioni tendono ad essere uguali e nei casi in cui le grandezze non sono uguali non si ha una risoluzione per cui si ottengono valori più alti. Anche in questo caso non è possibile trovare

una convenienza nello scegliere la risoluzione più alta rispetto a quella più bassa.

4.3.6 Curtosi AR



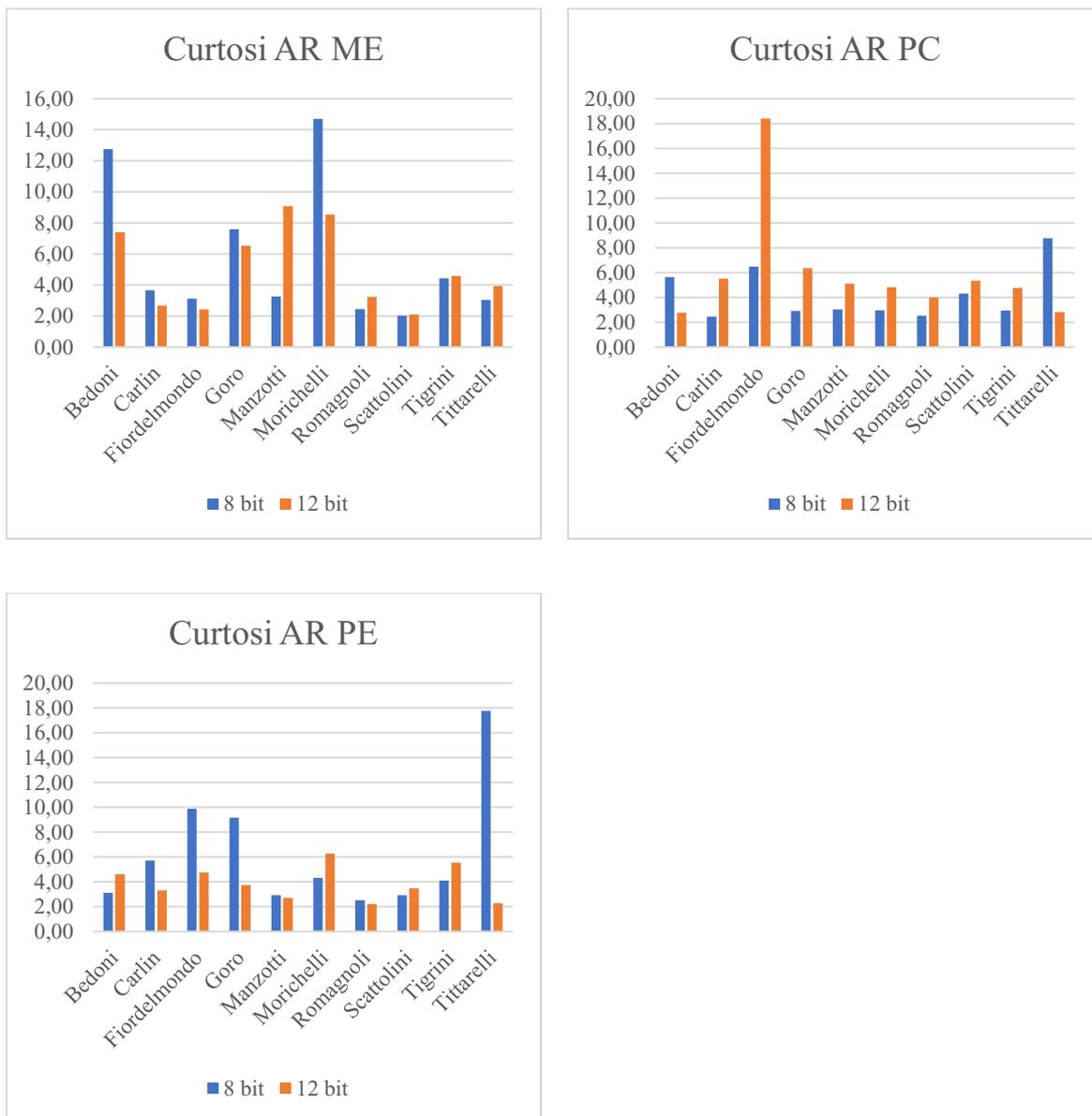


Figura 30: Grafici della Curtosi del AR dei gesti in analisi

I grafici della Curtosi del AR confermano la tendenza che si è avuta per la Curtosi degli altri parametri. Anche in questo caso le grandezze che si ottengono alle due risoluzioni tendono ad avere lo stesso valore e non è

identificabile una risoluzione con cui si ottengono valori maggiori. Da notare il grafico della Curtosi del AR del gesto HN dove si sono ottenuti valori negativi.

4.3.7 Risultati Curtosi

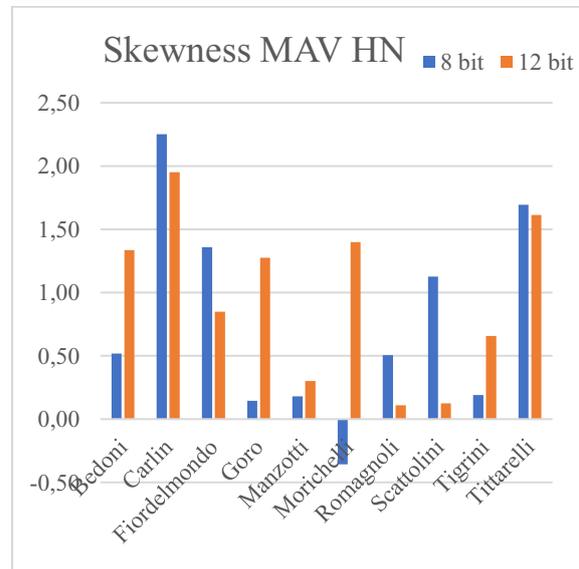
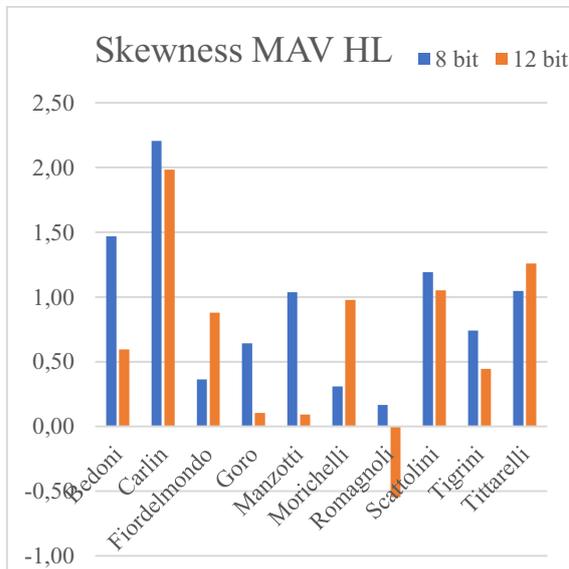
In conclusione, valutando i valori della Curtosi delle features si nota un andamento ricorrente: le grandezze ottenute dalle acquisizioni effettuate a risoluzioni differenti tendono ad avere gli stessi valori. Questo comporta un'indipendenza del parametro della Curtosi rispetto alla scelta della risoluzione. Quindi non c'è convenienza nell'utilizzare un dispositivo che effettui acquisizioni ad una risoluzione più elevata.

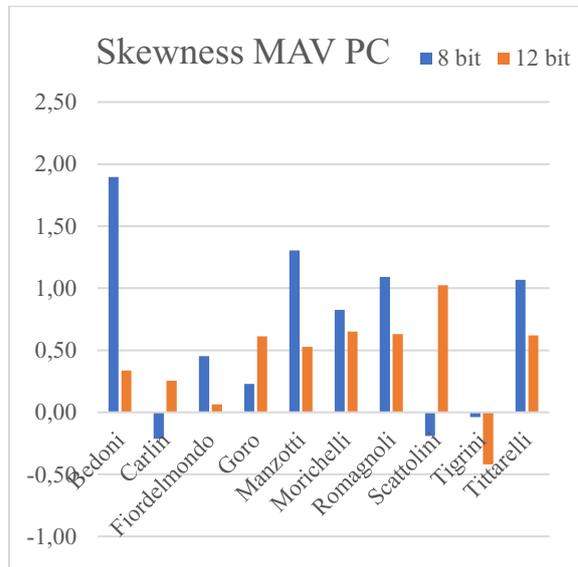
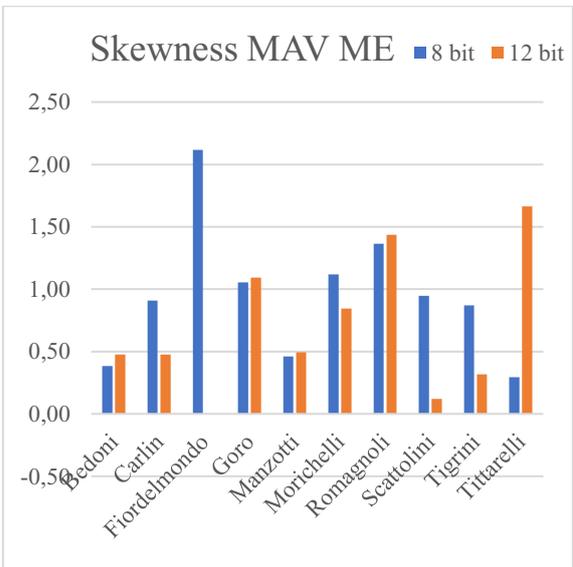
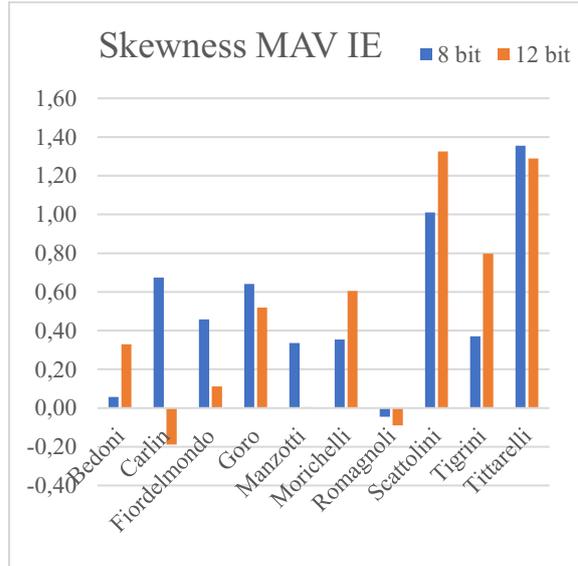
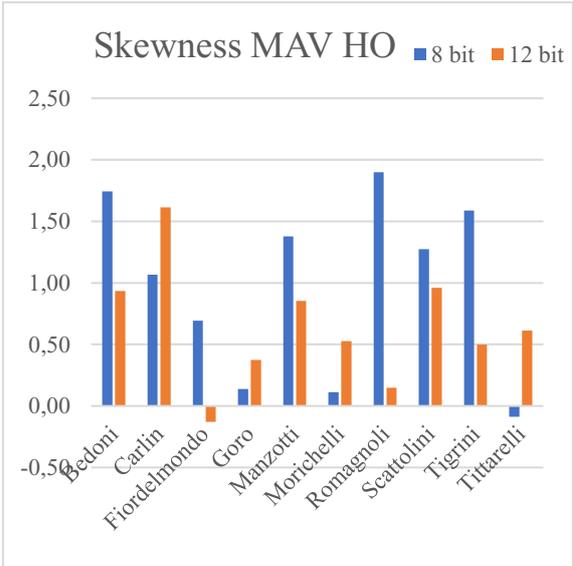
4.4 Skewness

Nella Skewness vengono messi a confronto, come nella Curtosi, i valori di ogni gesto alle due risoluzioni considerate.

Con la Skewness viene analizzata l'asimmetria della distribuzione. Un indice di asimmetria uguale a 0 è condizione di simmetria. Un indice di asimmetria positivo indica una distribuzione in cui i valori sono raggruppati nella parte dei valori bassi, con una lunga coda verso i valori maggiori: asimmetria a destra. Un indice di asimmetria negativo indica la situazione opposta.

4.4.1 Skewness MAV





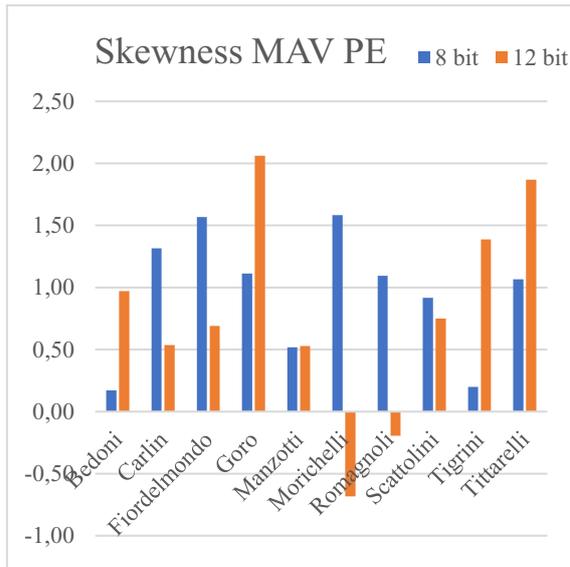
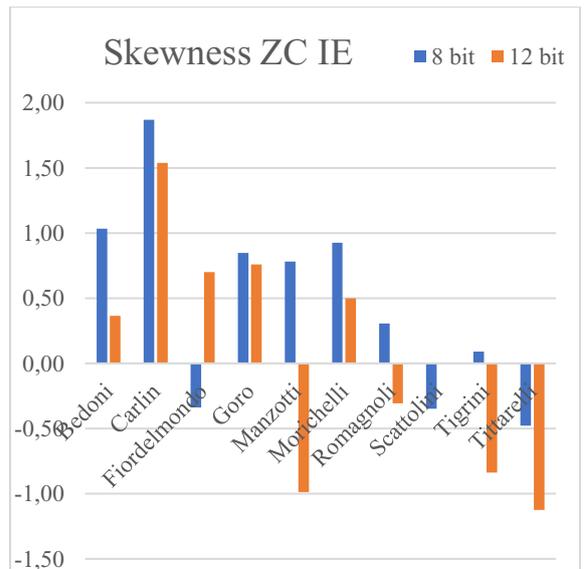
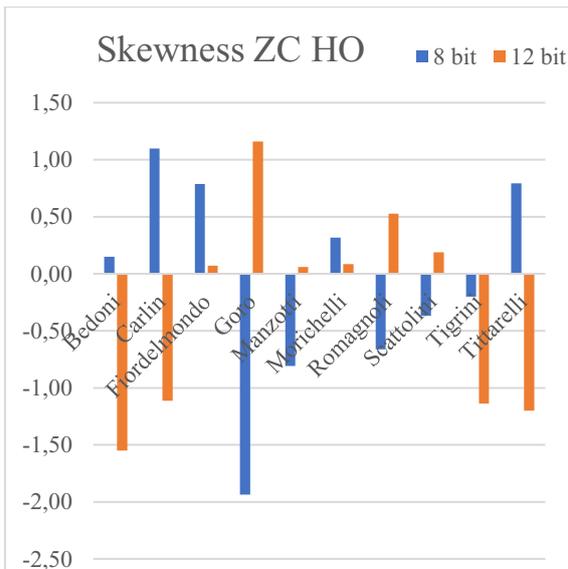
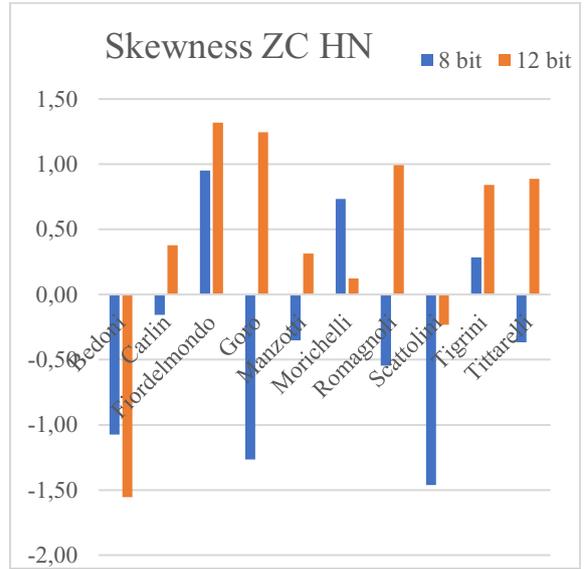
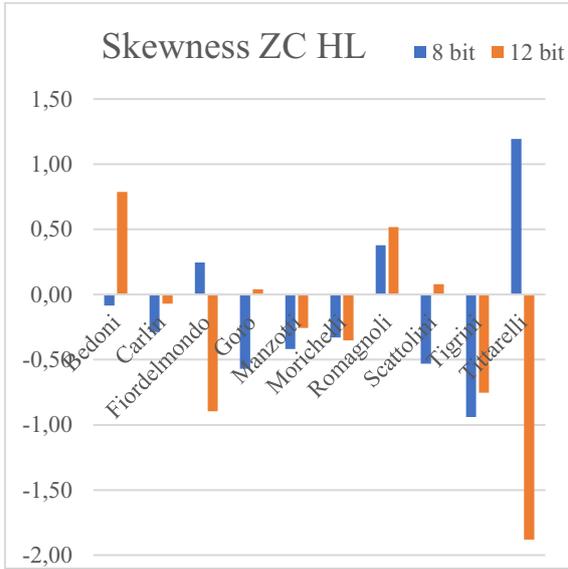


Figura 31: Grafici della Skewness della MAV dei gesti in analisi

Dai grafici della Skewness della MAV non è possibile evidenziare una risoluzione con cui si ottengono valori maggiori rispetto all'altra. Dalle grandezze ottenute si nota una tendenza ad avere curve asimmetriche, infatti sono pochissimi i casi in cui i valori della Skewness sono prossimi allo 0. C'è la tendenza ad avere un'asimmetria positiva, infatti in poche situazioni si hanno valori negativi, mentre sono molti di più i casi in cui si hanno valori positivi.

4.4.2 Skewness ZC



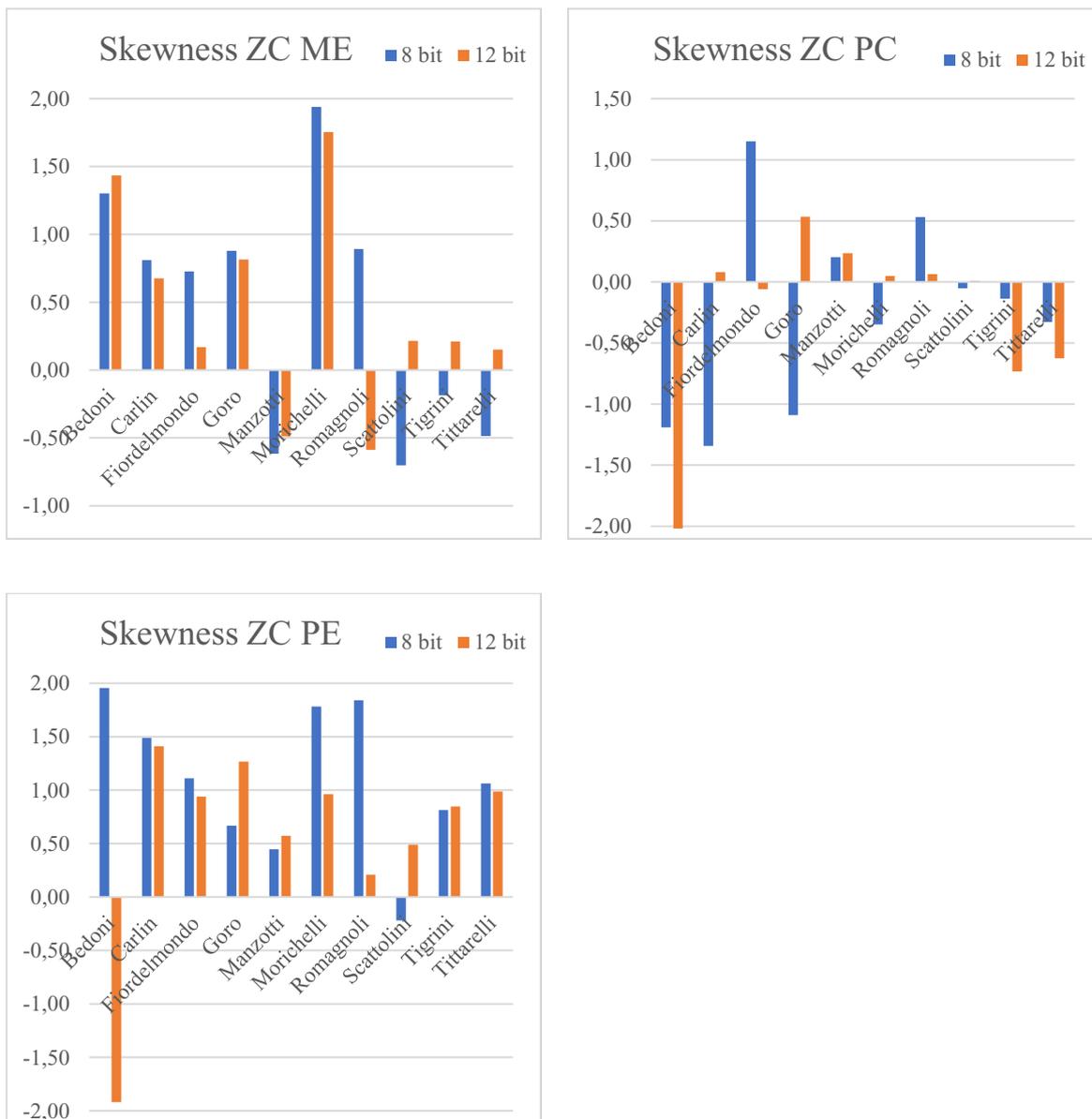
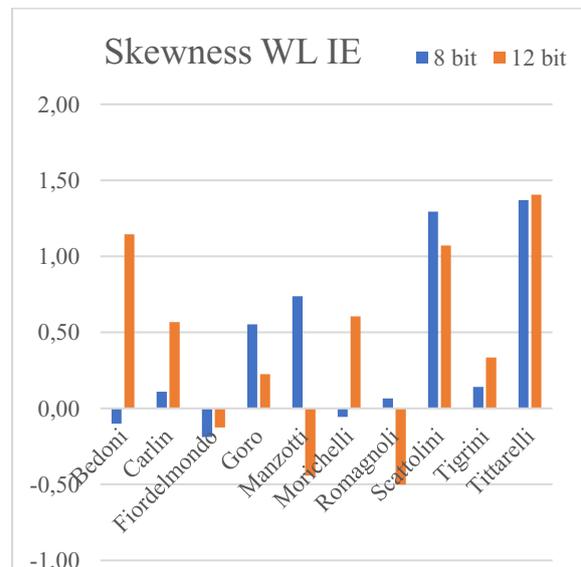
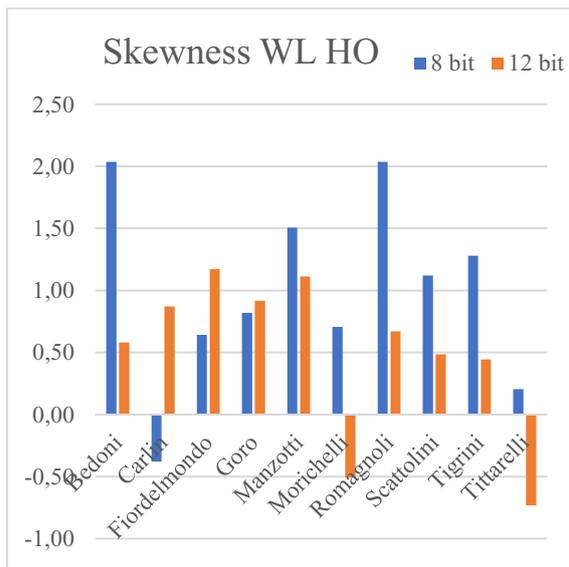
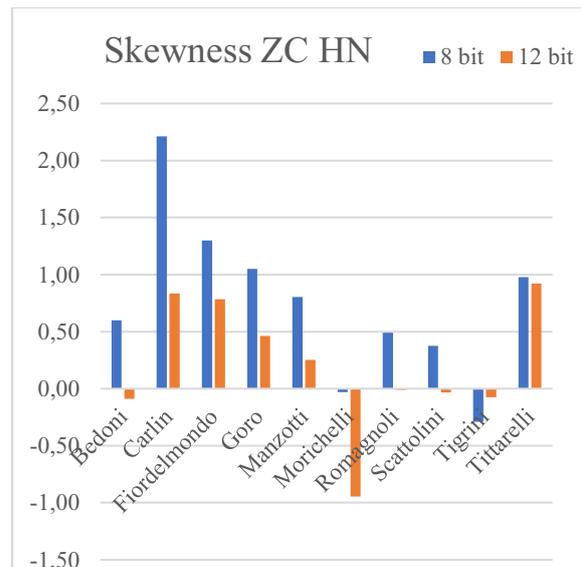
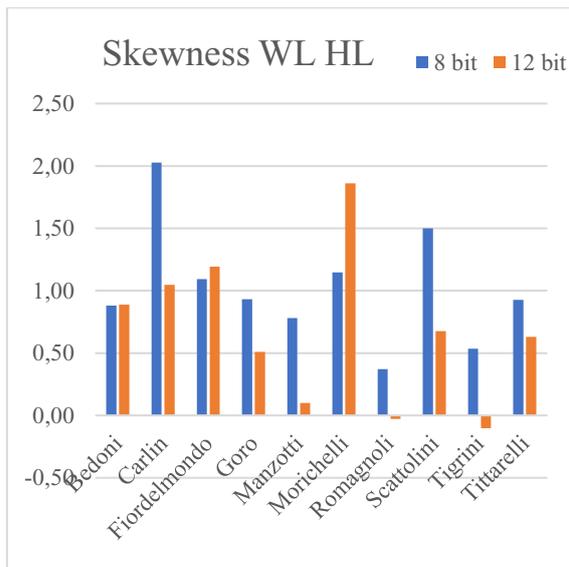


Figura 32: Grafici della Skewness della ZC dei gesti in analisi

I grafici della Skewness dello ZC, rispetto a quelli della Skewness della MAV, presentano più valori che sono prossimi alla condizione di simmetria. In questo caso non è possibile indicare un'asimmetria più pronunciata rispetto all'altra; infatti, le grandezze ottenute hanno una buona alternanza tra valori positivi e

valori negativi. Anche in questa situazione non è possibile evidenziare una risoluzione con la quale si ottengono valori maggiori rispetto all'altra.

4.4.3 Skewness WL



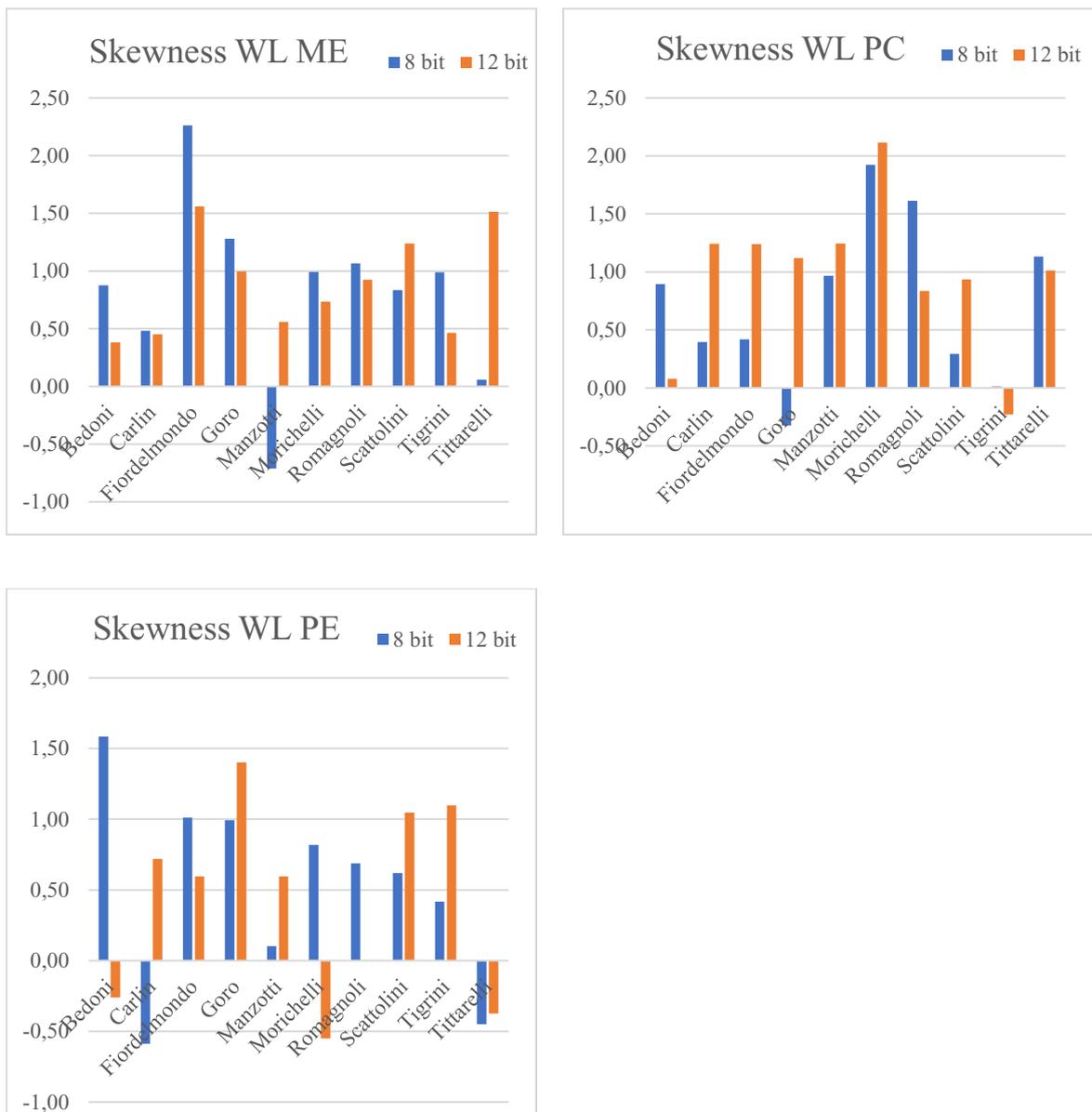


Figura 33: Grafici della Skewness della WL dei gesti in analisi

Nei grafici della Skewness della WL la tendenza è di avere un indice di asimmetria positivo. Infatti, sono pochissimi i casi in cui si hanno valori prossimi allo zero oppure negativi. Anche in questa situazione non si ha una risoluzione con cui si ottengono valori maggiori rispetto all'altra.

4.4.4 Skewness SSC

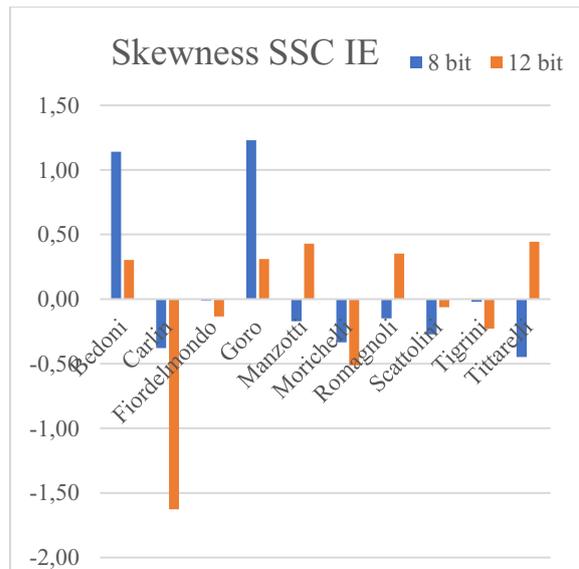
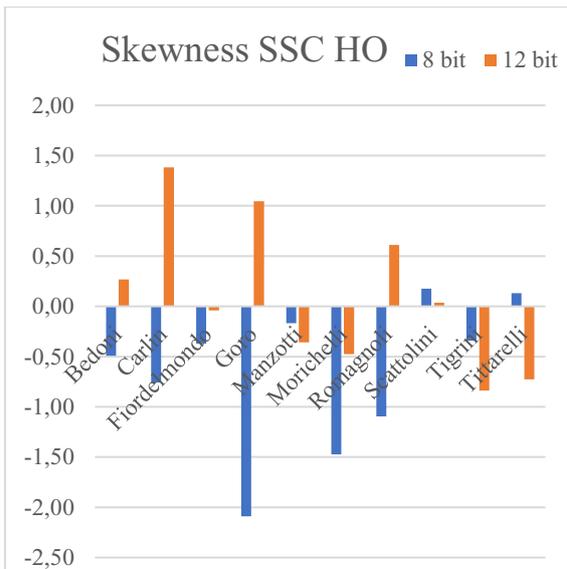
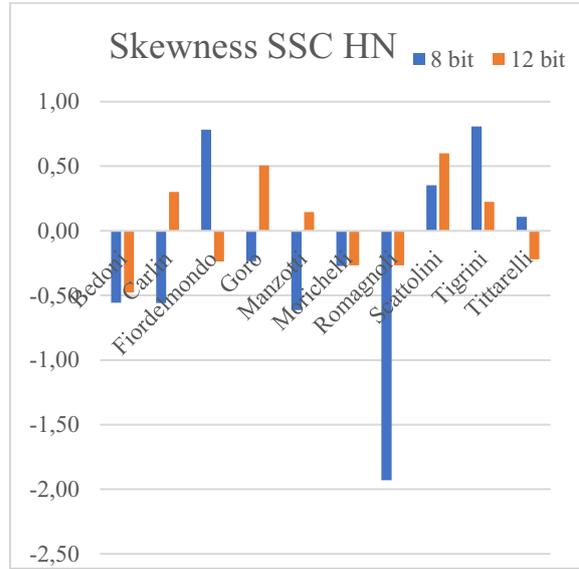
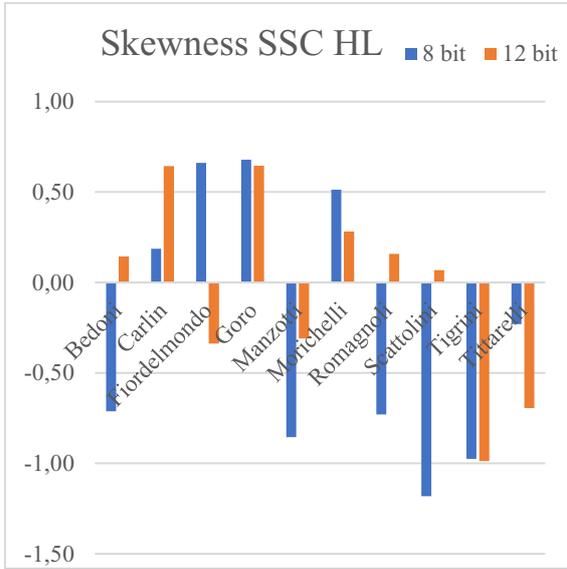


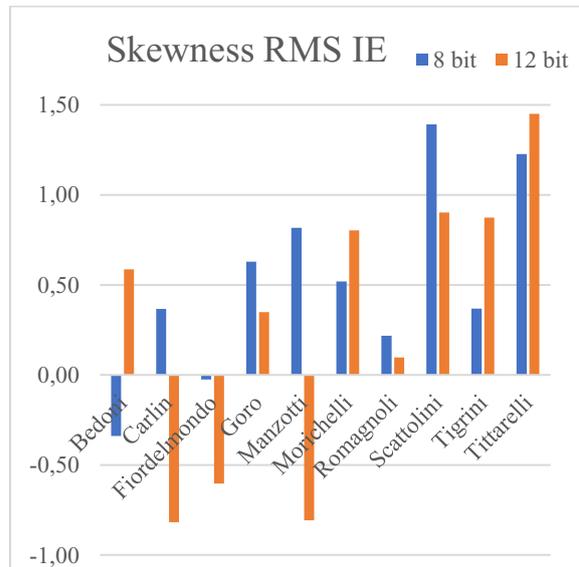
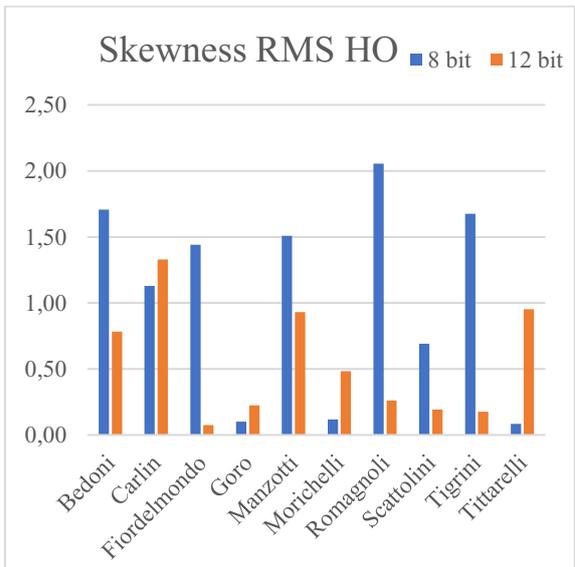
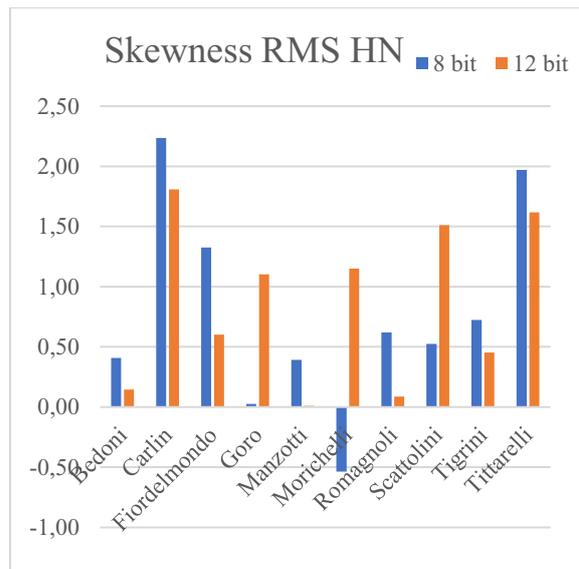
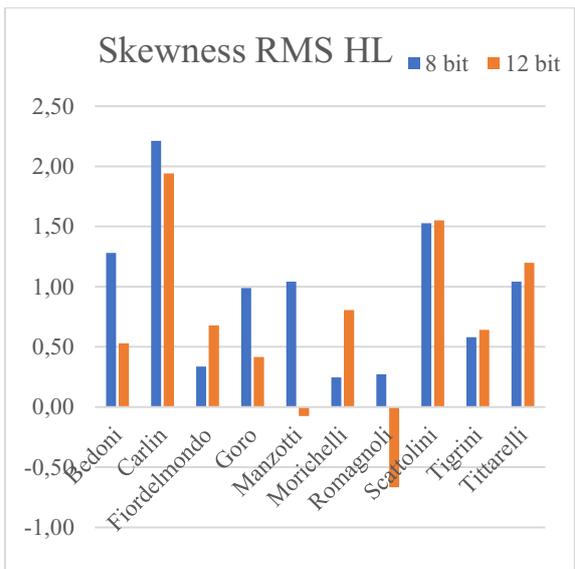


Figura 34: Grafici della Skewness dello SSC dei gesti in analisi

Dai grafici della Skewness dello SSC l'indice di asimmetria tende ad essere negativo. Bisogna evidenziare anche la presenza di alcuni valori che sono prossimi alla condizione di simmetria. Come nei casi precedenti, anche nella

Skewness dello SSC non si trova una risoluzione con cui si ottengono valori maggiori dell'altra.

4.4.5 Skewness RMS



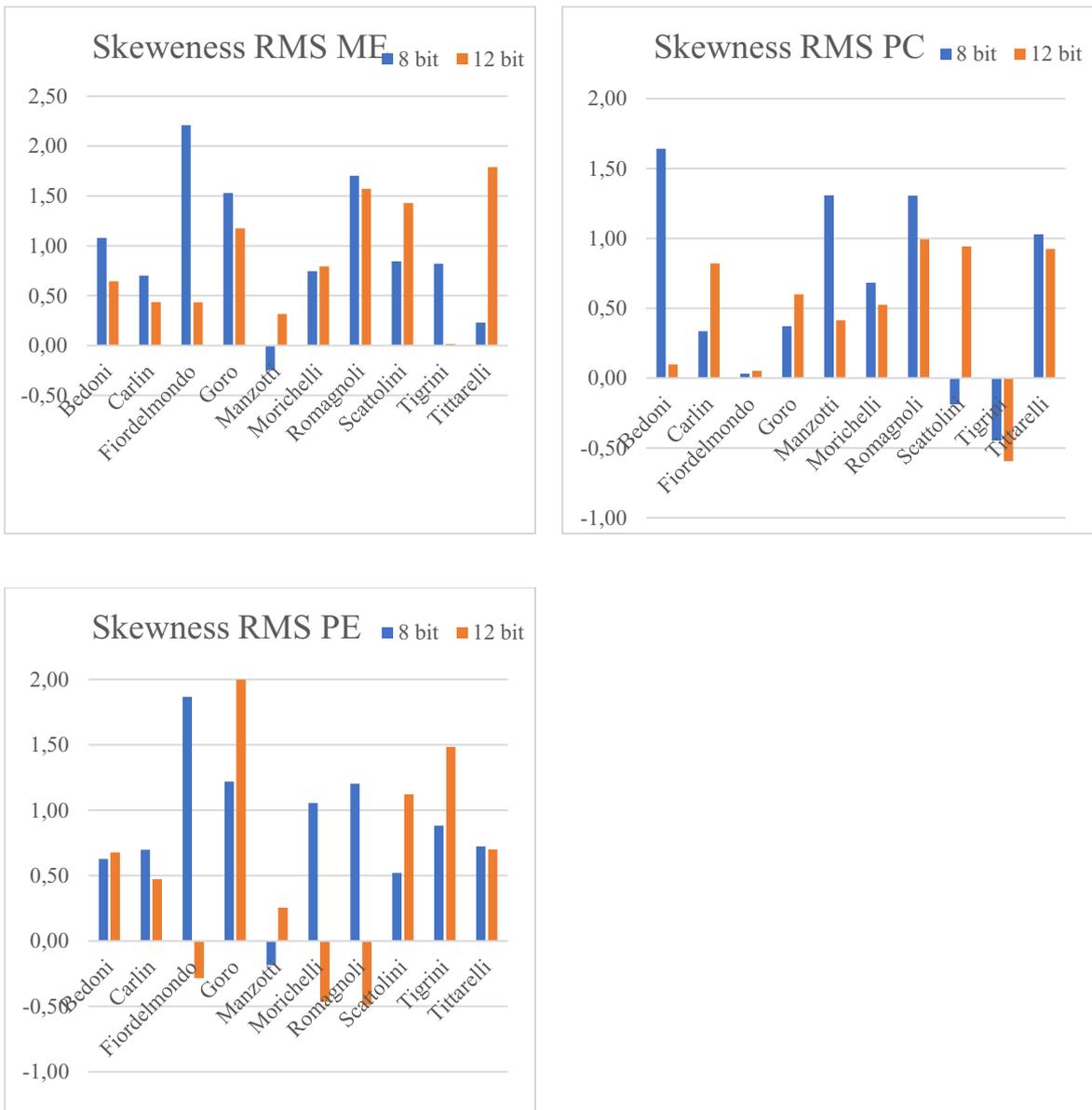
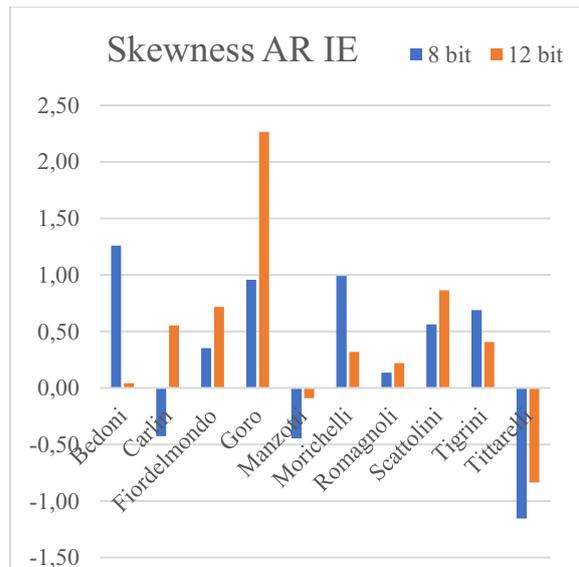
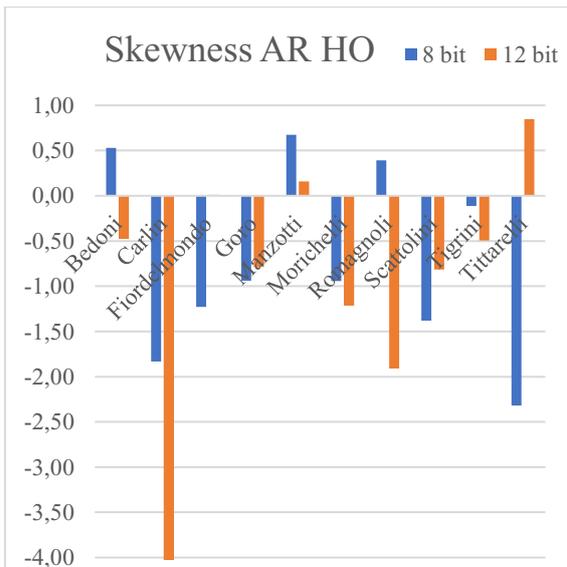
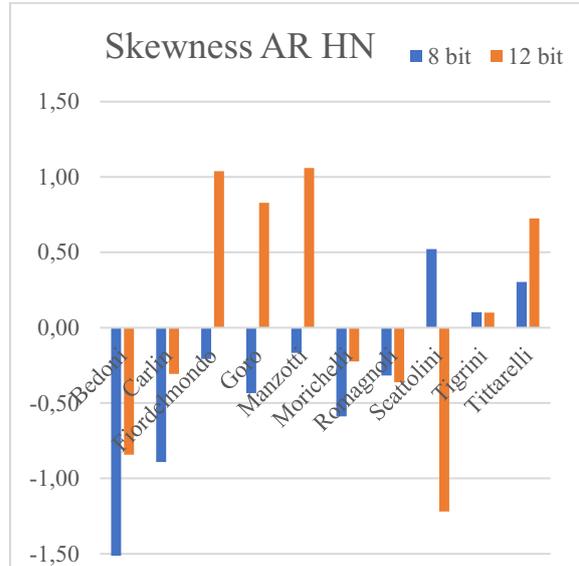
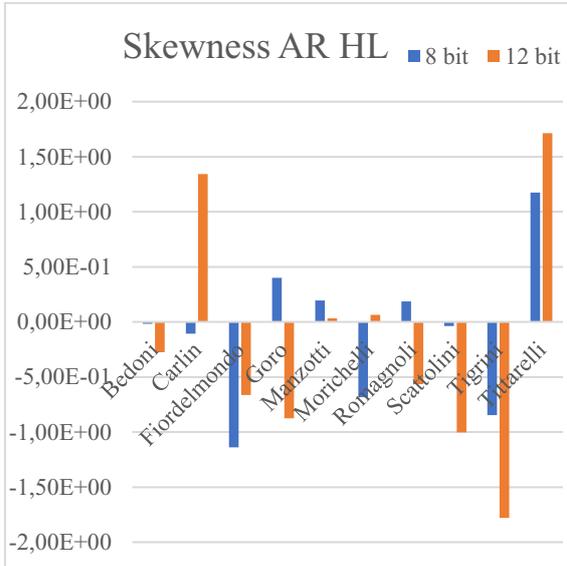


Figura 35: Grafici della Skewness del RMS dei gesti in analisi

Dai grafici della Skewness del RMS si nota che l'indice di asimmetria è positivo. Sono pochissimi i casi in cui si ha un indice di asimmetria negativo oppure si ha la condizione di simmetria. Inoltre, come nelle situazioni precedenti, non si ha una risoluzione che convenga rispetto all'altra.

4.4.6 Skewness AR



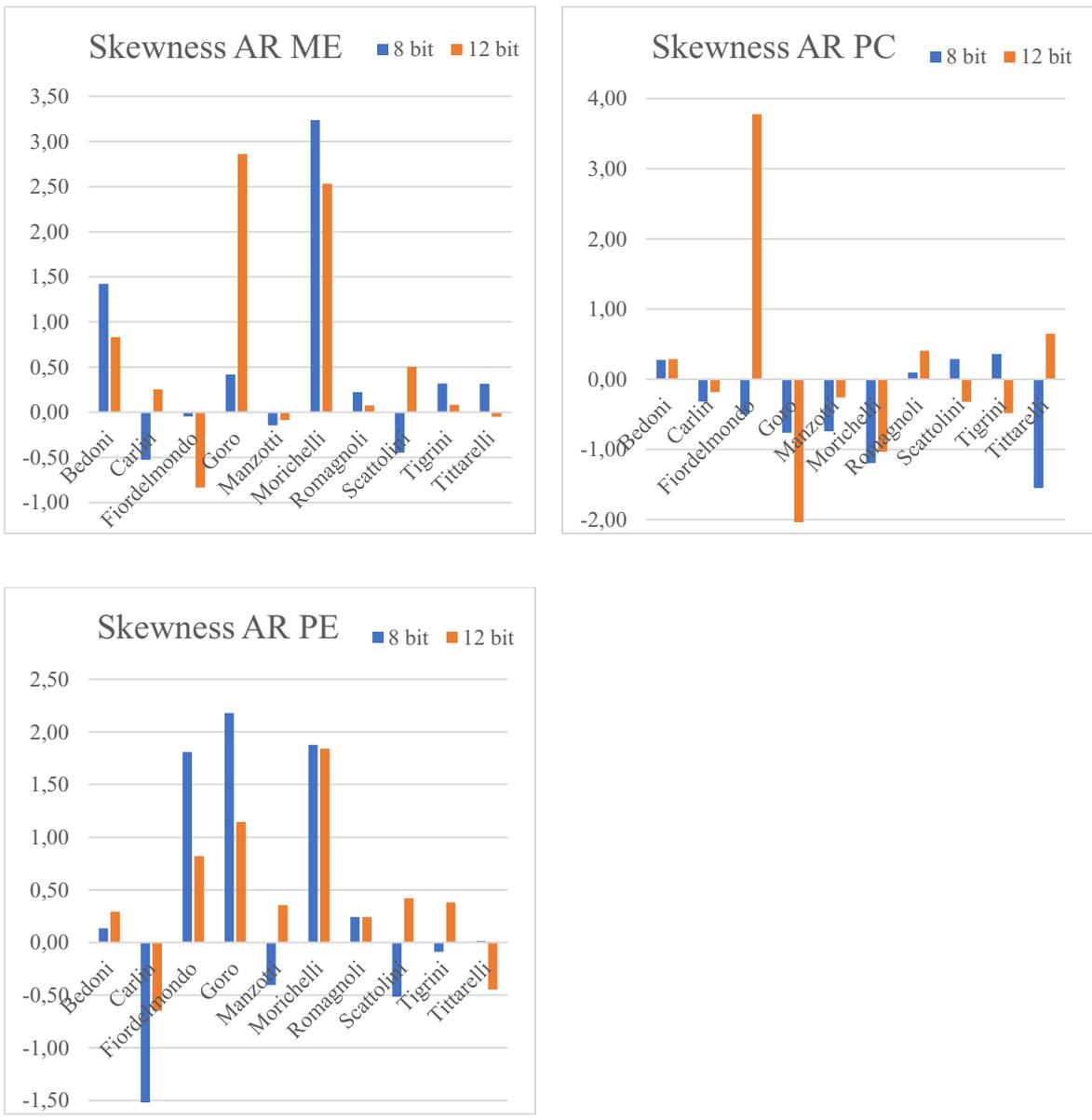


Figura 36: Grafici della Skewness del AR dei gesti in analisi

Dai grafici della Skewness del AR l'indice di asimmetria tende ad essere negativo. Sono presenti anche molti valori prossimi alla condizione di simmetria. Da notare in questi grafici la presenza di asimmetrie molto pronunciate; infatti, si hanno dei valori, sia positivi che negativi, molto elevati.

Come nei casi precedenti, anche in questo non si ha una risoluzione con cui si ottengono valori più convenienti.

4.4.7 Risultati Skewness

In conclusione, dai valori analizzati della Skewness non è possibile definire un indice di asimmetria ricorrente per tutti i parametri. Infatti, in alcuni casi si ha un indice di asimmetria positivo, mentre in altri si ha un indice di asimmetria negativo. Si ha anche la condizione di simmetria, ma è la meno diffusa. Quindi si può dire che la distribuzione dei dati ottenuti dalla Skewness è prevalentemente asimmetrica.

Inoltre, in tutti i parametri si è notato che non è possibile individuare una risoluzione con la quale si ottiene valori maggiori rispetto all'altra.

5. Conclusioni

Gli obiettivi dell'elaborato sono stati raggiunti analizzando i segnali elettromiografici che sono stati acquisiti. In primo luogo, sono stati introdotti il modello di acquisizione, i gesti considerati e il dispositivo di misura che è stato utilizzato. Sono stati poi presentati i passaggi per l'elaborazione del segnale, i parametri per il confronto dei dati e il metodo di estrazione delle features. Quanto riportato è stato utile per confrontare i dati ottenuti dalle acquisizioni effettuate a 8 bit con quelle eseguite a 12 bit. In particolar modo l'analisi è stata effettuata raccogliendo i dati, ottenuti dalle features, attraverso i parametri. Nella Media si è visto che la scelta della risoluzione è leggermente influente sui valori che si ottengono; infatti, per la MAV, la WL e il RMS si sono ottenuti valori maggiori nei dati acquisiti a 12 bit, mentre nel ZC, nel SSC e nel AR si è visto che i valori ottenuti a 12 bit risultano essere uguali a quelli acquisiti a 8 bit. Nella Varianza la scelta della risoluzione ha particolare peso per la MAV, la WL e il RMS; le acquisizioni effettuate a 12 bit hanno dei valori maggiori dell'ordine delle migliaia rispetto a quelle a 8 bit. Invece per il ZC, il SSC e il AR i valori che si ottengono alle due risoluzioni risultano essere simili. Nella Curtosi tutte le features presentano lo stesso andamento tra le due risoluzioni; infatti, i valori ottenuti a 8 bit risultano essere uguali a quelli a 12 bit. Nella Skewness non è possibile definire una relazione tra le grandezze ottenute alle

due differenti risoluzioni per la presenza di valori positivi e negativi, che stanno ad indicare l'indice di asimmetria della distribuzione. Piuttosto si può dire che non c'è una risoluzione conveniente, poiché non si ha una risoluzione con cui si ottengono sempre valori superiori dell'altra. In conclusione, non c'è convenienza nell'acquisire un segnale elettromiografico ad una risoluzione superiore rispetto ad una inferiore. Questo perché il contenuto informativo del segnale si preserva anche se viene utilizzata una bassa risoluzione. Solamente in pochi casi si può dire che ad una risoluzione più alta si ha una maggiore quantità di informazione, ma questi casi non sufficienti per stabilire la convenienza di utilizzo di una risoluzione superiore.

Bibliografia

- [1] E. Costanza, A. Perdomo, S. A. Inverso, and R. Allen, 'EMG as a Subtle Input Interface for Mobile Computing', in *Mobile Human-Computer Interaction - MobileHCI 2004*, 2004, pp. 426–430.
- [2] M. la Banca Freitas, J. J. A. Mendes, D. P. Campos, and S. L. Stevan, 'Hand Gestures Classification Using Multichannel sEMG Armband', in *XXVI Brazilian Congress on Biomedical Engineering*, 2019, pp. 239–246.
- [3] A. Mengarelli, A. Tigrini, S. Fioretti, S. Cardarelli, and F. Verdini, 'On the use of fuzzy and permutation entropy in hand gesture characterization from EMG signals: Parameters selection and comparison', *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 20, pp. 1–19, Oct. 2020, doi: 10.3390/app10207144.
- [4] S. Micera, J. Carpaneto, and S. Raspopovic, 'Control of hand prostheses using peripheral information', *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, vol. 3, pp. 48–68, 2010, doi: 10.1109/RBME.2010.2085429.
- [5] F. S. Botros, A. Phinyomark, and E. J. Scheme, 'Electromyography-Based Gesture Recognition: Is It Time to Change Focus from the Forearm to the Wrist?', *IEEE Trans Industr Inform*, vol. 18, no. 1, pp. 174–184, Jan. 2022, doi: 10.1109/TII.2020.3041618.
- [6] S. Pizzolato, L. Tagliapietra, M. Cognolato, M. Reggiani, H. Müller, and M. Atzori, 'Comparison of six electromyography acquisition setups on hand movement classification tasks', *PLoS One*, vol. 12, no. 10, Oct. 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0186132.
- [7] L. M. Hari, S. Edward Jero, G. Venugopal, and S. Ramakrishnan, 'Analysis of needle electromyography signal in neuropathy and myopathy conditions using tunable-Q wavelet transform', in *ACM International Conference Proceeding Series*, Sep. 2019, pp. 78–82. doi: 10.1145/3366174.3366189.

- [8] B. Hudgins, P. Parker, and R. N. Scott, 'A New Strategy for Multifunction Myoelectric Control', *IEEE Trans Biomed Eng*, vol. 40, no. 1, pp. 82–94, 1993, doi: 10.1109/10.204774.