



**UNIVERSITÀ  
DI PARMA**

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE  
MEDICO-VETERINARIE**

### **Relazione conclusiva di progetto**

TITOLO: Tecniche innovative per la valutazione dei difetti interni che incidono sulla qualità commerciale del formaggio Parmigiano Reggiano DOP

ACRONIMO: TACxPR

Focus Area 3A, Operazione 16.2.01

Domanda di Sostegno n. 5413471

Settore di Intervento: Produzioni Zootecniche

Settore Produttivo: Lattiero Caseario

DURATA mesi n 18    Data inizio attività: 29/09/2022

Data fine attività: 28/03/2024

---

#### **Sommario**

1. Introduzione
2. Azioni, obiettivi e risultati proposti/attesi
3. Azione 1 – Esercizio della cooperazione
4. Azione 2 – Studi necessari alla realizzazione del piano
5. Azione 3 – Azioni specifiche legate alla realizzazione del piano
  - 5.1 Azione 3.1 – Realizzazione del prototipo
  - 5.2 Azione 3.2 - Rilevazione dei difetti con le diverse tecnologie
  - 5.3 Azione 3.3 – Elaborazione statistica complessiva dei dati rilevati nelle azioni precedenti  
e stesura di relazione finale
6. Azione 4 - Divulgazione
7. Conclusioni

**UNIVERSITÀ DI PARMA**

Via del Taglio, 8 - 43126 Parma

[www.unipr.it](http://www.unipr.it)



## 1. Introduzione

I difetti interni di struttura (DIS) nel Parmigiano Reggiano si manifestano come alterazioni della struttura granulare e omogenea tipica della pasta del formaggio, risultando la tipologia di difetto più frequentemente riscontrata nella sua produzione. I DIS possono essere classificati in base alla loro origine, localizzazione, geometria e momento di comparsa. Tra i DIS meglio caratterizzati si annoverano il gonfiore butirrico (precoce o tardivo), la sfoglia e gli spacchi.

Il gonfiore butirrico consiste in una destrutturazione della pasta, caratterizzata dalla presenza di aperture e cavità, definite occhi, talvolta accompagnate da fessurazioni e spacchi. Questo gonfiore è classificato come precoce o tardivo a seconda che si manifesti a breve distanza dalla produzione o dopo alcuni mesi. Tale difetto è causato da fermentazioni anomale ad opera di batteri sporigeni anaerobi gasogeni (clostridi) che utilizzano come fonte di carbonio acidi organici (*Clostridium tyrobutyricum*, gonfiore tardivo), zuccheri (*Cl. butyricum*, gonfiore precoce) o frazioni azotate (*Cl. sporogenes*, gonfiore tardivo).

Nel caso del *Cl. tyrobutyricum*, la germinazione delle spore inizia già nelle prime 20-30 ore, quando nella pasta si realizzano le condizioni ottimali per lo sviluppo delle spore. Le cellule continuano a riprodursi nella pasta, accumulando crescenti quantità di anidride carbonica e idrogeno. Il gonfiore della forma diventa evidente solitamente dopo 4-6 mesi di stagionatura.

Altre occhiature, più o meno diffuse, possono essere causate dall'azione dei batteri propionici, dei lieviti o dei batteri lattici eterofermentanti, i quali, attraverso il loro metabolismo, determinano lo sviluppo di anidride carbonica.

Nel 2020, sono state prodotte 3.937.833 forme di Parmigiano Reggiano. Di queste, 3.547.988 sono risultate di I categoria (Scelto sperlato, Zero, o Uno), 326.840 di II categoria (Mezzano), e 63.005 sono state sbiancate e destinate a formaggi non DOP (o III categoria).

Considerando che il prezzo del formaggio di I categoria era al tempo compreso tra 10,50 e 10,70 euro al chilogrammo, e che il formaggio di II categoria (rigato) perde 0,3 - 0,5 euro al chilogrammo (media: 0,40 euro al chilogrammo), mentre il formaggio sbiancato (scarto) perde 3,5 - 4,0 euro al chilogrammo (media: 3,75 euro al chilogrammo), e ipotizzando un peso medio della forma di 40 chilogrammi, si può calcolare quanto segue:

La produzione di 326.840 forme di Mezzano invece che di I categoria ha comportato una perdita media di circa 16 euro per forma, corrispondente a oltre 5.229.000 euro nel 2020.

La produzione di 63.005 forme di sbiancato (non DOP) invece che di I categoria ha comportato una perdita media di circa 150 euro per forma, per una perdita economica di oltre 9.450.000 euro nel 2020. Pertanto, il danno economico totale ammonta a oltre 14.680.000 euro a causa dei difetti nel formaggio.

Questo progetto ha permesso di evidenziare precocemente la presenza di difetti di struttura all'interno del Parmigiano Reggiano, consentendo quindi ai produttori di formaggio di conoscere l'entità e le caratteristiche di un difetto al suo formarsi, monitorandone l'evoluzione nel tempo.

La tecnologia TAC (Tomografia Assiale Computerizzata) produce immagini tridimensionali ad alta risoluzione e si è rivelata efficiente nell'individuazione di difetti strutturali delle forme



# UNIVERSITÀ DI PARMA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE  
MEDICO-VETERINARIE

permettendo una più precoce individuazione dei difetti interni di struttura nel formaggio. Ciò consentirà ai caseifici stessi una gestione più razionale delle forme e anche degli spazi durante il periodo di stagionatura. Infatti, la valutazione mediante TAC della qualità delle forme nel periodo precedente la prima espertizzazione del Parmigiano Reggiano permette la selezione precoce delle forme difettate e una più efficace gestione delle stesse.

Una precoce determinazione dei difetti, inoltre, consente al caseificio di poter conoscere anzitempo eventuali problematiche legate alla lavorazione e/o alla qualità del latte e adottare gli opportuni accorgimenti. Infatti, la caratterizzazione accurata e precoce dei difetti può permettere di adottare accorgimenti tecnologici nella lavorazione che possono contribuire alla progressiva diminuzione dell'insorgenza dei difetti stessi. Inoltre, i caseifici potranno essere in grado di valutare anzitempo le future perdite in termini di resa commerciale e le conseguenti perdite economiche a cui andranno incontro.

## **2. Azioni, obiettivi e risultati proposti/attesi**

Questo progetto ha come obiettivo il perseguimento di due priorità di filiera, ovvero qualità e ambiente, associate al settore lattiero-caseario: incentivare la produzione e la commercializzazione di prodotti ad elevata distintività e contenuto di servizi; incentivare una maggiore efficienza del ciclo di produzione e di trasformazione in termini di risparmio energetico, contrazione dei consumi idrici e migliore gestione dei reflui.

In linea con le finalità indicate, l'accordo di filiera prevede il coinvolgimento diretto sia di imprese agricole-zootecniche che di aziende di trasformazione casearia, con lo scopo di:

- Innovare e razionalizzare la fase di produzione, raccolta e conservazione dei foraggi;
- Innovare e razionalizzare l'allevamento bovino nelle aziende agricole zootecniche al fine della produzione di latte di alta qualità da destinarsi alla trasformazione in formaggio PR introducendo nel contempo tecniche innovative in armonia con il rispetto dell'ambiente e il risparmio energetico;
- Innovare e razionalizzare le strutture casearie di trasformazione e le strutture di condizionamento e stagionatura del formaggio PR, introducendo nel contempo tecniche in armonia con il rispetto dell'ambiente e il risparmio energetico;
- Sviluppare la vendita diretta e la commercializzazione in comune del formaggio PR prodotto dai caseifici cooperativi;
- Con l'obiettivo finale, attraverso il miglioramento di tutti standard qualitativi della materia prima e del prodotto finito, di potenziare le condizioni economiche delle aziende agricole aderenti al progetto di filiera.

Al fine di incentivare una maggiore efficienza del ciclo di produzione e di trasformazione, tramite l'attivazione delle misure 4.1.01 e 4.2.01, il progetto di filiera prevede investimenti per il potenziamento e l'aggiornamento nelle strutture, macchinari e attrezzature sia a livello di singole aziende casearie, sia nel campo della produzione e della conservazione del foraggio e della produzione del latte.



# UNIVERSITÀ DI PARMA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE  
MEDICO-VETERINARIE

In particolare, le aziende agricole che hanno aderito al progetto di filiera realizzano interventi nel campo della fienagione, quali macchinari, attrezzature e ricoveri per lo stesso, nonché interventi nell'allevamento dei bovini da latte, quali nuove stalle o attrezzature e macchinari. Grazie agli investimenti inerenti alla misura 4.1.01 ci si attende un incremento della quantità e un miglioramento della qualità del latte prodotto nelle aziende agricole aderenti. Altrettanto attesi sono i miglioramenti del livello qualitativo del formaggio prodotto a livello di trasformazione casearia mediante gli interventi previsti nell'ambito della Misura 4.2.01. con la realizzazione di interventi sulle aree di lavorazione e di magazzino formaggio. In entrambi i livelli, sia nelle aziende agricole che in quelle della trasformazione, gli interventi previsti porteranno una riduzione dei costi e migliori condizioni degli ambienti di lavoro sotto il profilo della sicurezza, anche grazie agli interventi a sostegno alla formazione professionale ed acquisizione di competenze previsti nell'ambito della Misura 1.1.01.

A completamento del quadro di interventi, le attività previste nell'ambito della Misura 16.2.01 contribuiranno maggiormente al raggiungimento dell'obiettivo di incentivare la produzione e commercializzazione di prodotti ad elevata distintività e contenuto di servizi. Il piano di innovazione infatti punta alla sperimentazione di un prototipo basato su una tecnologia e principi assolutamente innovativi per il settore che nel passato non era abordabile per gli altissimi costi connessi agli investimenti e alla gestione del sistema tecnologico proposto nel presente progetto. Il sistema, infatti, consente di analizzare il formaggio Parmigiano Reggiano prodotto in modo non invasivo abbandonando le superate tecnologie basate sull'utilizzo dei raggi x e utilizzando i principi della Tomografia Assiale Computerizzata (TAC). La TAC permette di evidenziare eventuali difetti della forma fin dalle prime settimane di stagionatura, con rilevamenti fotografici tridimensionali. La sperimentazione del prototipo verrà effettuata da gruppi scientifici universitari e da centri di assistenza tecnica che saranno partner nel progetto, tutti ad alto livello scientifico e di notevole esperienza nel settore lattiero caseario del Parmigiano Reggiano. La modalità operativa di impiego del prototipo consiste nell'analisi delle forme nel corso della stagionatura al fine di rilevare, il più precocemente possibile, l'eventuale insorgenza di difetti di struttura. Il sistema innovativo sperimenterà la propria efficacia sui caseifici partecipanti al progetto di filiera, con l'intento di portare spunti importanti all'intero sistema produttivo del formaggio Parmigiano Reggiano. Lo studio dei difetti attraverso una immagine tridimensionale, inoltre, porterà ad una migliore caratterizzazione degli stessi e, di conseguenza, della loro origine. Questo porterà ad un aumento della percentuale di forme di elevata qualità, con ripercussioni economiche positive su tutti gli attori della filiera. Infine, sarà dirimente mettere a disposizione dell'intero sistema i risultati rilevati dal progetto, così che la tecnologia legata al prototipo possa essere impiegata per la costruzione di macchinari da impiegare nella normale attività di assistenza tecnica ai caseifici associati, anche al fine di una migliore ed economica gestione dei costi.

UNIVERSITÀ DI PARMA

Via del Taglio, 8 - 43126 Parma

[www.unipr.it](http://www.unipr.it)



### 3. Azione 1 – Esercizio della cooperazione

La presente azione è stata svolta durante tutte le fasi del progetto attraverso una serie di incontri di coordinamento alle quali hanno preso parte tutti i soggetti responsabili delle azioni. Gli obiettivi, raggiunti, degli incontri sono stati quelli di: 1) gestire e monitorare le tempistiche di realizzazione di ogni azione, valutando e implementando piani di contingenza, dove necessario, predisponendo misure correttive per il completamento efficiente di tutte le azioni coinvolte; 2) gestire il flusso di informazioni e di dati durante tutte le fasi del progetto, garantendo una archiviazione accurata di tutte le informazioni raccolte.

L'azione 1 è stata svolta attraverso una serie di incontri di cui si allega tabella riepilogativa (Allegato 1).

### 4. Azione 2 – Studi necessari alla realizzazione del piano

Sono stati recuperati i dati inerenti le espertizzazioni delle forme da parte del CFPR, prodotte a partire da gennaio 2010. In questo modo, si è potuta conoscere la frequenza attuale dei difetti e l'incidenza delle varie categorie commerciali sui lotti espertizzati. La tabella 1 riporta la percentuale di forme di Parmigiano Reggiano espertizzate suddivise in tre categorie (I, II, non DOP) per ciascun anno dal 2010 al 2015. La I categoria rappresenta le forme espertizzate di alta qualità. La percentuale di forme che rientrano in questa categoria è rimasta abbastanza stabile nel corso degli anni, variando tra l'89% (2011) e il 92% ( $\geq 2013$ ). Il valore più alto è stato registrato nel 2013 con 2,995,615 forme di I categoria, mentre il valore più basso è stato registrato nel 2012 con 2,946,060 forme. La seconda categoria rappresenta le forme con qualche difetto minore. Il numero di forme in questa categoria ha mostrato una leggera tendenza all'aumento negli anni, e rappresentando poco più del 6% nel 2013 e raggiungendo il 7,29% nel 2015. Il valore più alto è stato registrato nel 2015 con 240,445 forme, mentre il valore più basso è stato registrato nel 2013. La III categoria o Non-DOP, include le forme che, a causa di difetti significativi, non possono essere vendute come Parmigiano Reggiano DOP. La percentuale di forme in questa categoria ha fluttuato nel corso degli anni. Il valore più alto è stato registrato nel 2012 con 140,564 forme (il 4,26%), mentre il valore più basso è stato registrato nel 2013 con 60,331 forme (l'1,85%).



**Tabella 1.** Numero di forme prodotte ed espertizzate di Parmigiano Reggiano DOP da 2010 al 2015

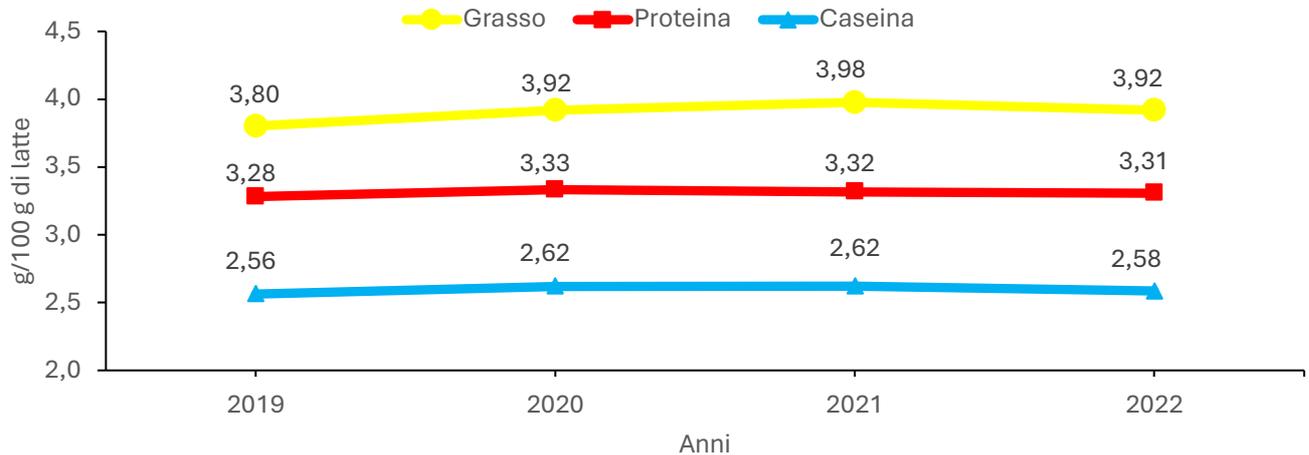
PROD. ANNO	PRODOTTE	I°	II°	non DOP	TOTALE (1+2+3)
2010	3,016,839	2,749,291	197,122	66,050	3,012,463
2011	3,232,000	2,855,608	210,604	112,936	3,179,148
2012	3,306,845	2,946,060	211,863	140,564	3,298,487
2013	3,280,513	2,995,615	203,627	60,331	3,259,573
2014	3,296,309	2,989,212	239,336	61,061	3,289,609
2015	3,302,604	2,996,480	240,445	60,654	3,297,579

In generale, il mantenimento di una percentuale elevata di forme di I categoria dimostra che, nonostante le fluttuazioni nelle altre categorie, la qualità complessiva del prodotto è rimasta elevata. Tuttavia, il leggero aumento delle forme di II categoria negli ultimi anni potrebbe suggerire una maggiore tolleranza per difetti minori o una variazione nelle condizioni di produzione e stagionatura, che assieme a una % variabile negli anni di forme scartate, suggerisce il bisogno di affidarsi a strumenti di nuova generazione che possano aiutare a rilavare in modo precoce i difetti del formaggio. Allo stesso modo, al contrario, è utile verificare quante delle forme che erroneamente possono essere classificate come II o non-DOP siano di I categoria.

Inoltre, sono stati raccolti i dati del pagamento latte a qualità delle aziende conferenti, a partire dal 2019, in modo da avere una fotografia della qualità del latte degli ultimi anni, da confrontare con i difetti riscontrati.

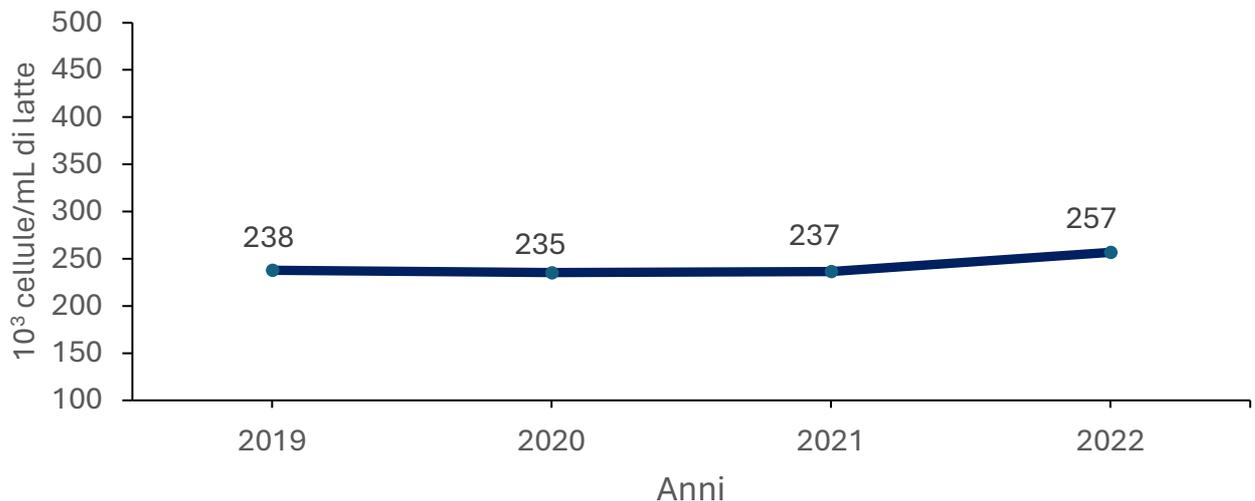


**Grafico 1.** Composizione del latte dal 2019 al 2022



Nel grafico 1 è possibile osservare l'andamento della composizione del latte in termini di grasso, proteina e caseina dal 2019 al 2022. Il grafico evidenzia una stabilità generale nei livelli di proteina e caseina nel latte, con una leggera tendenza al rialzo per il grasso fino al 2021, seguita da una lieve diminuzione nel 2022.

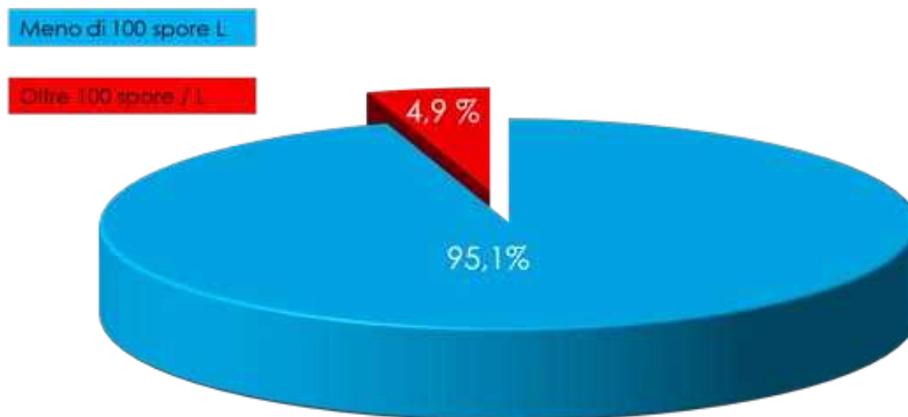
**Grafico 2.** Andamento delle cellule somatiche del latte dal 2019 al 2022



Il grafico 2 mostra l'andamento annuale della conta delle cellule somatiche nel latte dal 2019 al 2022. Il grafico indica una stabilità relativa nella conta delle cellule somatiche dal 2019 al 2021, con lievi variazioni. Tuttavia, nel 2022 si osserva un aumento più marcato della conta delle cellule somatiche rispetto agli anni precedenti.



**Grafico 3.** Spore di butirrici nel latte



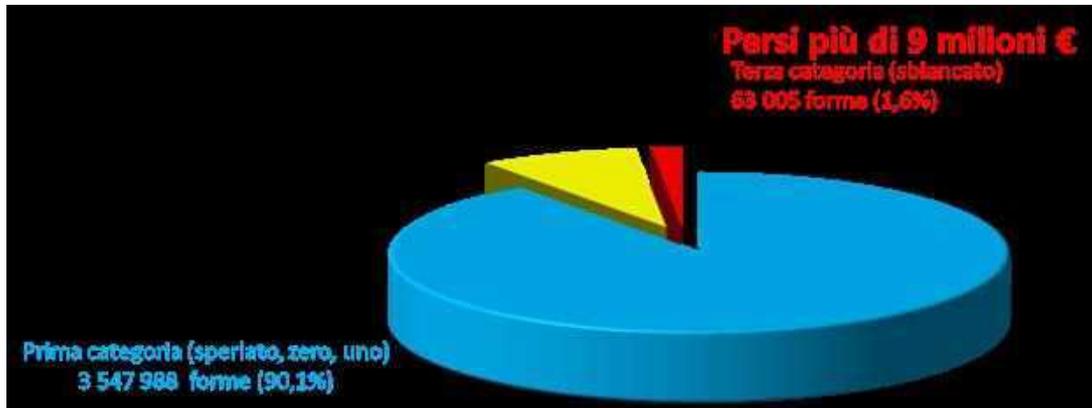
Il grafico 3 mostra che la maggior parte del latte è di buona qualità microbiologica, con meno di 100 spore per litro. Solo una piccola parte del latte presenta livelli di spore più elevati, suggerendo che le pratiche di igiene e di controllo della qualità sono generalmente efficaci, anche se esistono alcuni casi che potrebbero necessitare di ulteriori miglioramenti.

Si è valutata quindi la ricaduta economica dei difetti nei singoli caseifici nei vari lotti espertizzati e nell'insieme della produzione, confrontando con i dati del comprensorio. Inoltre, in base all'incidenza delle forme difettate e il numero di spore di clostridi butirrici, sono stati individuati i caseifici in cui si è operato e sono state organizzate le visite ai suddetti caseifici nell'ambito delle azioni successive.

Nel complesso, nel comprensorio del Parmigiano Reggiano sono stati persi più di 14.680.000 euro a causa di problemi relativi alla qualità delle forme di formaggio prodotte. Di questi, oltre 5 milioni di euro sono stati persi a causa delle forme classificate come di II categoria (mezzano), che rappresentano 326.840 forme, pari all'8,3% del totale. Inoltre, più di 9 milioni di euro sono stati persi a causa delle forme classificate come di III categoria (sbiancato), che ammontano a 63.005 forme, equivalenti all'1,6% del totale. La I categoria (sperlato, zero, uno) comprende la maggioranza delle forme prodotte, con 3.547.988 forme, che rappresentano il 90,1% del totale. Queste informazioni sono state riassunte nella figura 1.



**Figura 1.** Incidenza economica dei difetti delle forme



In base ai dati di qualità del latte, disponibili per diversi caseifici, sono stati identificati i caseifici presso i quali effettuare le visite. In particolare, sei caseifici sono stati identificati in funzione della qualità del latte basata su numero di spore presenti. Questo parametro è stato utilizzato per selezionare i caseifici presso i quali la probabilità di trovare forme con difetti è più alta. Il risultato finale in questa fase è stata la realizzazione di un piano di visite su cui è stata basata l'azione 3.2. Un passaggio importante di questa intera azione è stato quello di ottenere le liberatorie dai caseifici coinvolti al fine di poter utilizzare i dati forniti.

I prodotti di questa azione sono presenti in allegato e in particolare: dataset dati storici di espertizzazione per ogni caseificio coinvolto nello studio (Allegato 2), dataset dati storici della qualità del latte per ogni caseificio coinvolto nello studio (Allegato 3), dataset con dati qualitativi dei caseifici relativi alle spore e utilizzato per la scelta e la formulazione del piano delle visite (Allegato 4), un calendario con il piano delle visite per l'azione 3.2 formulato in base alle disponibilità dei caseifici e agli obiettivi della singola azione (Allegato 5).

## 5. Azione 3 – Azioni specifiche legate alla realizzazione del piano

L'Azione 3 è stata realizzata attraverso il completamento di tre sotto azioni consistenti in 1) realizzazione del prototipo innovativo per l'acquisizione di immagini 2D e 3D, 2) implementazione del prototipo all'interno della filiera del PR per l'acquisizione delle immagini delle forme di formaggio, 3) elaborazione statistica dei dati raccolti al fine di evidenziare le potenzialità della tecnologia implementata, fornendo una visione sul ritorno qualitativo e quantitativo all'interno del processo organizzativo di filiera.



**UNIVERSITÀ  
DI PARMA**

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE  
MEDICO-VETERINARIE**

### **5.1 Azione 3.1 Realizzazione del prototipo**

In questa azione è stata effettuata la creazione di un prototipo innovativo, destinato esclusivamente a fini sperimentali, nell'ambito dell'azione 3. La realizzazione del prototipo è stata sviluppata dalla ditta Ing. Ferretti, che in via esclusiva ha prodotto la strumentazione mobile in grado di effettuare scansioni 3D del Parmigiano Reggiano per la rilevazione precoce dei difetti interni alle forme (Foto 1a), migliorando significativamente la gestione delle forme e della loro stagionatura. Il prototipo è trasportabile mediante un normale furgone (Foto 1b), è alimentabile con i normali impianti a 380 V a 32 A presenti in caseificio ed ha una risoluzione di 200 x 200 x 200 micrometri, ed è una strumentazione mobile a ridotte dimensioni utilizzabile direttamente in caseificio. Come mostrato in figura 2, il prototipo esegue sia scansioni bidimensionali, come le precedenti macchine a raggi X, che tridimensionali.

In questa fase pilota del piano di innovazione sono stati acquisiti dati tecnici forniti dal personale esperto del CLCA. Il percorso si è concluso con l'installazione e il collaudo del sistema in loco, seguiti dalla taratura per adattare la tecnologia della TAC 3D al prodotto alimentare Parmigiano Reggiano, e con prove di trasportabilità su furgone in dotazione al CLCA. La fornitura del prototipo da parte della ditta fornitrice è avvenuta con circa 5 mesi di ritardo rispetto a quanto preventivato. Questo ritardo è stato dovuto a motivi inevitabili e non prevedibili, in particolare la guerra in Ucraina ha reso difficile la reperibilità dei materiali necessari per la realizzazione del prototipo.



**UNIVERSITÀ  
DI PARMA**

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE  
MEDICO-VETERINARIE**

Foto 1. Esempio di scansione di una forma di PR (a) e modalità di trasporto del prototipo (b).

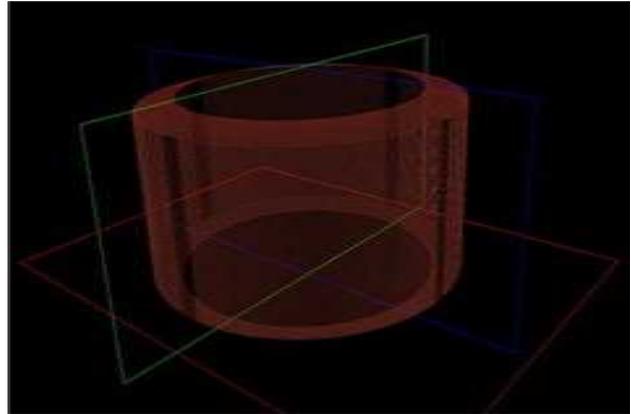
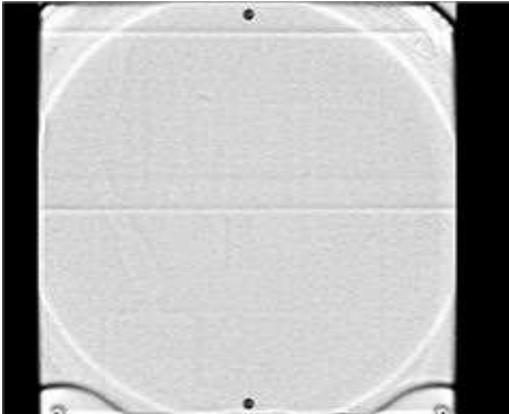
a)



b)



Figura 2. Esempio di immagine bidimensionale (2D) e tridimensionale (3D)





## 5.2 Azione 3.2 - Rilevazione dei difetti con le diverse tecnologie

In questa azione, svolta dal CLCA in collaborazione con UNIPR, sono state previste le attività necessarie per testare e impiegare la tecnologia innovativa presso i caseifici del CPBF. L'intera azione è stata realizzata con il supporto dello strumento innovativo di rilevazione 2D e 3D sviluppato nella precedente fase. In particolare, l'azione è stata suddivisa in due fasi, nella prima fase è stato effettuato un sopralluogo nei caseifici durante, o subito dopo, le operazioni di battitura delle forme da parte degli esperti del Consorzio di Tutela del Parmigiano Reggiano. L'obiettivo della prima fase è stato quello di rilevare dati 2D e 3D per effettuare una valutazione e validazione del prototipo su forme espertizzate. Nella seconda fase, sono state pianificate una serie di visite presso i caseifici coinvolti al fine di rilevare i dati 2D e 3D su forme di formaggio a partire da 2 mesi di stagionatura e fino al settimo mese, al fine di evidenziare eventuali difetti e monitorarne l'evoluzione nel tempo. L'obiettivo della seconda fase è stato quello di valutare le potenzialità dello strumento nel rilevamento precoce di difetti e di rilevare dati di operatività al fine di proporre un modello di assistenza e di gestione del processo. Il numero finale di caseifici coinvolti nello studio è stato di 5 rispetto ai 6 proposti in fase iniziale. Un caseificio è stato escluso perché non è stato possibile effettuare le scansioni per un problema relativo alla gestione dello strumento in magazzino e rilevato solo al momento della prima scansione. In particolare, la mancanza di una presa a 5 poli, 32 A e con corrente stabilizzata non ha permesso l'utilizzo dello strumento. Al fine di non ritardare l'intero progetto, come piano correttivo si è deciso di proseguire con le scansioni in cinque caseifici aumentando il numero di forme scansionate in modo da avere comunque il numero di forme previsto nel progetto.

I dati 2D e 3D acquisiti in entrambe le fasi descritte e relativi alle analisi delle forme, sono stati acquisiti e stoccati. I files hanno notevoli dimensioni e sono visualizzabili solo con software apposito. Pertanto, non sono state allegate alla presente relazione, ma restano a disposizione qualora fossero richieste.



**UNIVERSITÀ  
DI PARMA**

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE  
MEDICO-VETERINARIE**

Foto 2. Acquisizione dei dati 2D e 3D in sala di stagionatura.

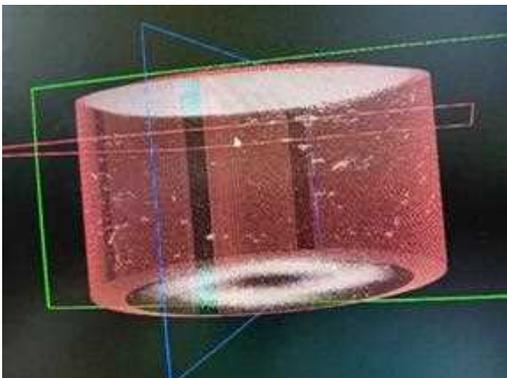


*Fase 1, Rilevazione dati per valutazione e validazione del prototipo su forme espertizzate.*

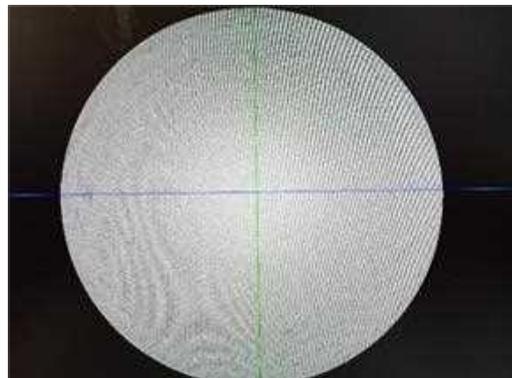
L'obiettivo di questa fase è stata quella di effettuare le scansioni di 100 forme espertizzate a 12 mesi di stagionatura e appartenenti a diverse categorie, al fine di validare le performances del prototipo. Durante le visite presso ogni caseificio, è stata condotta l'analisi delle forme classificate a martello come difettate dagli esperti del Consorzio di Tutela. L'analisi è stata eseguita in modalità bidimensionale e in modalità tridimensionale (TAC), al fine di confrontare e verificare la maggiore capacità di rilevamento dei difetti con la tecnologia TAC. La tomografia assiale ha consentito di ottenere un'immagine tridimensionale perfetta per l'individuazione e il posizionamento dei difetti interni di struttura, dovuti a sfoglia e spacchi, difficilmente rilevabili con i metodi attualmente disponibili sul mercato.

Figura 3. Esempio di immagine 3D su intera forma espertizzata (a) e sezione orizzontale (b).

a)



b)





# UNIVERSITÀ DI PARMA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE  
MEDICO-VETERINARIE

Tutte le categorie possibili sono state considerate in questa fase e in particolare:

1CatScelto = scelto sperlato

1Cat1 = lieve difetto strutturale

1Cat0 = piccola lesione sulla crosta

2Cat1 = difetto strutturale di media gravità

2Cat2 = difetto strutturale più grave rispetto al precedente

2Cat0B = lesione di media gravità sulla crosta

3Cat3 = difetto strutturale molto grave

3Cat02B = lesione molto grave sulla crosta

Le categorie 1CatScelto, 1Cat1 e 1Cat0 sono state codificate rispettivamente come S, S1 ed S0.

Tutte le forme rientranti nelle categorie 2Cat1, 2Cat2 e 2Cat0B sono state codificate come "Mezzano". Le forme rientranti nelle categorie 3Cat3 e 3Cat02B sono state codificate come "Sbiancato".

In Figura 4 un esempio della scheda di registrazione utilizzata per la registrazione dei dati e delle osservazioni effettuate in ogni caseificio e per ogni forma scansionata.

Figura 4. Modello della scheda di registrazione e valutazione delle immagini

Data	gg/mm/aaaa	Caseificio	Fabiola	
Stagionatura (mesi)	12			
N	Categoria espertizzazione	Evidenze 2D	Evidenze 3D	Note
1	S1	1 occhio	1 occhio di 1,9 cm ed uno strappo sotto crosta piatto di 3 cm	
2	Mezzano	2 occhi	1 occhio di 1,5 cm + uno spacco di 2,4 cm sotto crosta piatto	

## *Fase 2, rilevazione immagini a diversi stadi di stagionatura*

Nella fase 2, presso gli stessi caseifici, sono state eseguite ulteriori visite per la verifica della presenza di difetti tramite le tecnologie 2D e 3D su formaggi a partire dai due mesi di stagionatura e fino. Le analisi sono state ripetute sulle stesse forme mensilmente fino al settimo mese di stagionatura, per verificare la capacità di rilevare precocemente l'insorgenza del difetto. Come preventivato in fase progettuale, i dati di espertizzazione a 12 mesi, relativi alle forme oggetto di studio in questa fase, non sono ancora disponibili visti i tempi consoni alla rilevazione del dato e legati al raggiungimento dei 12 mesi di stagionatura. Il ritardo nella disponibilità di questo dato è



dovuto anche agli effetti descritti nell'azione 3.1 che hanno ritardato l'inizio delle operazioni di scansione. La mancanza del dato di espertizzazione non ha comunque influito sull'obiettivo principale che è stato quello di monitorare l'evoluzione dei difetti per rilevarli precocemente e formulare un modello di assistenza e gestione del processo di intervento.

Figura 5. Identificativi delle forme (placche di caseina per singolo caseificio) scansionate nella fase 2

Numero	CPL	Fabiola	Fiore	San Salvatore	La Mezzanese
1	HAGR182	GZRZ655	HAOH756	GZXG097	GZTC773
2	HAGR409	GZRZ760	HAOH753	GZXG576	GZTC761
3	HAGR419	GZRZ866	HAOH762	GZXG680	GZTC746
4	HAGR374	GZRZ234	HAOH760	GZXG682	GZTC774
5	HAGR338	GZRZ676	HAOH748	GZXG683	GZTC736
6	HAGR310	GZRZ657	HAOH765	GZXG578	GZTC806
7	HAGR314	GZRZ968	HAOH750	GZXG577	GZTC731
8	HAGR312	GZRZ909	HAOH761	GZXG478	GZTC747
9	HAGR321	GZRZ861	HAOH773	GZXG681	GZTC745
10	HAGR359	GZRZ891	HAOH749	GZXG100	GZTC726
11	HAGR175	GZRZ970	HAOH732	GZXG475	GZTC777
12	HAGR179	GZRZ960	HAOH738	GZXG815	GZTC677
13	HAGR229	GZRZ966	HAOH745	GZXG579	GZTC661
14	HAGR213	GZRZ980	HAOH757	GZXG476	GZTC702
15	HAGR166	HDZS020	HAOH745	GZXG771	GZTC673
16	HAGR076	GZRZ550	HAOH640	GZXG301	GZTC740
17	HAGR665	GZRZ598	HAOH645	GZXG017	GZTC660
18	HAGR678	GZRZ602	HAOH609	GZXG898	GZTC768
19	HAGR674	GZRZ656	HAOH655	GZXG786	GZTC658
20	HAGR664	GZRZ678	HAOH583	GZXG477	GZTC629
21			HAOH683		
22			HAOH004		
23			HAOH590		
24			HAOH734		
25			HAOH721		
26			HAOH731		
27			HAOH704		
28			HAOH828		
29			HAOH659		
30			HAOH593		



### 5.3 Azione 3.3 – Elaborazione statistica complessiva dei dati rilevati nelle azioni precedenti e stesura di relazione finale

Il risultato raggiunto nell'azione 5.2 è stato quello di creare due dataset principali, uno per ogni fase, in cui sono presenti le immagini raccolte su ogni forma a diverse fasi di stagionatura (fase 2) e le relative descrizioni dell'eventuale difetto riscontrato (da espertizzazione e da analisi di immagine).

L'obiettivo della presente azione è stato quello di elaborare i dati presenti nei dataset al fine di valutare e validare l'efficienza del prototipo su forme a dodici mesi (fase 1) e a diverse fasi di stagionatura (fase 2). Sulla base dei dati raccolti e della loro elaborazione, è stato inoltre possibile formulare un modello di assistenza basato sulla tecnologia implementata e un modello di gestione veloce del processo di produzione in funzione dei risultati riscontrati.

#### *Risultati fase 1.*

Per l'elaborazione dei dati acquisiti nella fase 1 e per la valutazione e validazione del sistema è stato utilizzato un metodo basato sulla concordanza del giudizio relativo ai tre metodi (espertizzazione, 2D e 3D). L'assunto principale per la valutazione (di 2D e 3D) è stato di considerare il risultato dell'espertizzazione come metodo di riferimento e quindi non affetto da errore. La valutazione è stata fatta per singola categoria e per tutte le categorie considerate insieme.

Tabella 1. Percentuale di concordanza tra tecniche innovative (2D e 3D) ed espertizzazione (Esp.).

Categoria	2D vs Esp.	3D vs Esp.	2D vs 3D
S	66.7	25.0	37.5
S1	77.8	66.7	85.7
S0	100	100	100
Mezzano	83.3	94.4	88.2
Sbiancato	100	100	100
Tutti	81.0	77.0	95.0

In tabella 1 sono riportati i risultati dell'elaborazione statistica relativa ai dati acquisiti sulle forme espertizzate a 12 mesi. Il valore in tabella è una misura di concordanza rispetto al valore di riferimento espresso in percentuale su tutti i campioni.

I risultati ottenuti dimostrano che in generale la tecnologia utilizzata è efficiente nella rilevazione dei difetti a 12 mesi se confrontati con il dato di espertizzazione.

Nel caso particolare delle categorie S ed S1, il basso valore di concordanza, soprattutto del 3D, è dovuto alla presenza di difetti riscontrati nel dato rilevato e non riscontrato nell'espertizzazione. In questo caso il metodo di validazione più accurato (non effettuato) sarebbe quello di aprire la forma e verificare la presenza del difetto. Qualora questa ulteriore validazione dimostrasse che i metodi di imaging (in particolare il 3D) siano in grado di rilevare



# UNIVERSITÀ DI PARMA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE  
MEDICO-VETERINARIE

difetti impercettibili all'espertizzazione, questo metodo potrebbe essere considerato come riferimento e utilizzato anche come base di training per gli esperti della valutazione.

Entrambe le tecniche di scansione forniscono una valutazione accurata del danno all'interno delle macrocategorie e soprattutto per SO, Mezzano e Sbiancato. I due metodi sono in generale concordanti tra loro. La scansione in 3D rispetto a quella 2D fornisce una descrizione dettagliata anche di piccoli difetti con possibilità di rilevare misure precise. Questa peculiarità è molto importante al fine di assegnare con precisione ogni forma ad una specifica sottocategoria.

## *Risultati fase 2.*

Nella fase 2 i dati rilevati su ogni forma a diversi mesi di stagionatura sono stati elaborati al fine di valutare l'efficienza del sistema nell'identificazione precoce del difetto e il suo monitoraggio nel tempo. Nella Figura 6 è riportato un esempio di rilevazione del difetto nel tempo dal quale è evidente che il sistema è efficiente e offre inoltre la possibilità di ottenere una misura accurata di ogni singolo difetto definendone anche la posizione esatta. I risultati mostrati in figura 6 sono stati riscontrati nel 97% dei casi in cui un difetto era presente.

I risultati ottenuti, particolarmente in questa fase, hanno permesso di formulare sia un modello di assistenza basato sulla tecnologia implementata che un modello di gestione veloce del processo di produzione.

Il modello di assistenza proposto prevede i seguenti step: richiesta di assistenza a chiamata da parte del caseificio; intervento immediato in base alla disponibilità del sistema (se non già occupato); rilevamento delle immagini sulle forme indicate dal caseificio; ottenimento dei dati qualitativi del latte utilizzato per lo specifico lotto di produzione; rilievo di altre informazioni utili relative al lotto di produzione (es. dati ambientali, gestionali, di caseificazione etc.); elaborazione dei dati nel minor tempo possibile (massimo entro una settimana); invio del report al caseificio con i problemi riscontrati e individuazione delle possibili cause.

La gestione del processo di produzione verrà di conseguenza gestita in funzione delle informazioni fornite nel report che permetteranno di intervenire in modo mirato sulla/sulle possibile/i causa/e e in particolare su: gestione e ottimizzazione delle materie prime (latte, caglio, acqua etc.), gestione del processo di produzione e dei materiali (caseificazione, pulizia impianti, salamoia); gestione della stagionatura inclusa l'esclusione precoce di forme considerate ad alto rischio in termini di cross contaminazione.

In seguito all'avvenuta ottimizzazione del processo di produzione, sarà prevista una ulteriore visita (entro 2 mesi) per valutare l'effetto ed evidenziare l'eventuale permanenza del problema. I benefici principali ottenibili con il modello di gestione proposto riguardano principalmente l'obiettivo di ridurre il numero di forme scartate e/o rientranti nelle categorie mezzano e sbiancato, aumentando di conseguenza il valore commerciale dei prodotti. Inoltre, un beneficio secondario riguarda la possibilità per il caseificio di ridurre i costi di stagionatura eliminando precocemente le forme risultanti non idonee.

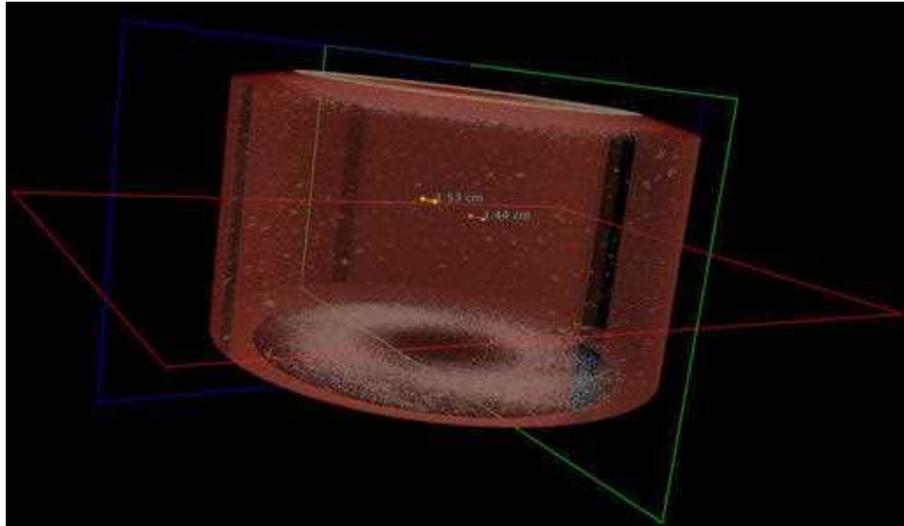


**UNIVERSITÀ  
DI PARMA**

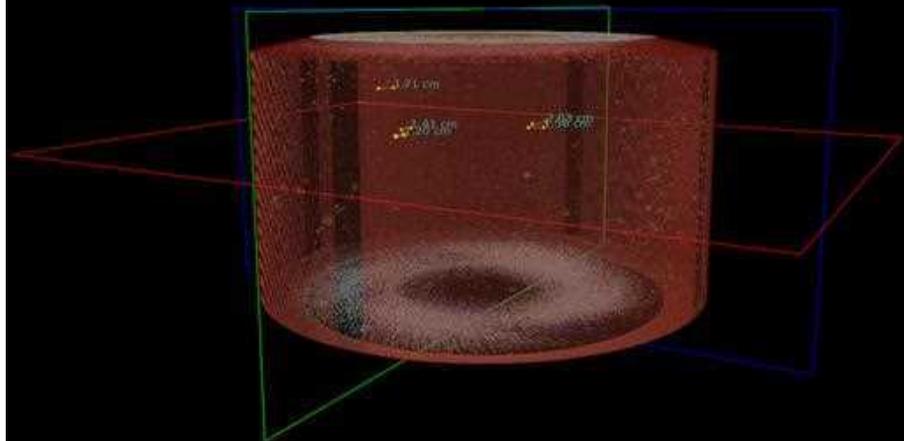
**DIPARTIMENTO DI SCIENZE  
MEDICO-VETERINARIE**

Figura 6. Rappresentazione di scansioni 3D a diverse fasi di stagionatura (2, 4 e 7 mesi). Sono evidenziati i difetti riscontrati con relativa localizzazione e misurazione.

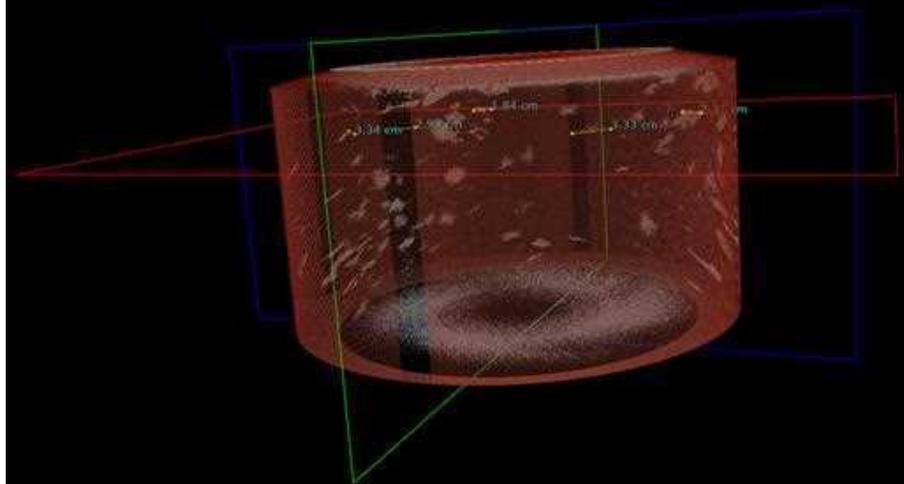
2 m



4 m



7 m





## 6. Azione 4 – Divulgazione

Durante l'attuazione e alla fine del progetto sono state svolte le seguenti iniziative di divulgazione: All'avvio del progetto, è stato organizzato un convegno di presentazione a Parma, nel quale è stata fatta una panoramica sulla qualità del latte e sui difetti nel formaggio Parmigiano Reggiano, e sono stati presentati gli obiettivi del piano. Il convegno è stato rivolto agli operatori del settore specificatamente invitati. L'organizzazione del convegno è stata curata dal CPBF, che ha messo a disposizione gratuitamente la sala e ha predisposto le locandine invito.

Un altro convegno è stato organizzato alla fine del progetto, rivolto sempre a un pubblico del settore, durante il quale sono stati illustrati i risultati raggiunti e le possibilità applicative del sistema TAC 3D. L'organizzazione del convegno è stata curata dal CPBF, che ha messo a disposizione la sala e ha predisposto le locandine invito.

Sono state organizzate visite guidate per casari, allevatori e commercianti presso i caseifici coinvolti, con dimostrazioni dell'uso della macchina TAC. L'organizzazione è stata curata dal CPBF, che si è coordinato con il CLCA, il quale possiede il mezzo per gli spostamenti e le competenze uniche sull'uso del prototipo innovativo per la filiera del Parmigiano Reggiano sul territorio.

Sono stati preparati e sottoposti due articoli tecnico-divulgativi da parte di UNIPR. Il primo, più introduttivo al progetto, è stato inviato alla rivista **Ruminantia**<sup>®</sup>, rivista gratuita destinata a tutti gli operatori della filiera produttiva del latte e della carne da ruminanti (<https://www.ruminantia.it/>) che lo ha pubblicato nella sezione Domus casei.

Il secondo articolo, più conclusivo e riportante alcuni risultati conseguiti dal progetto, è stato inviato alla rivista "Il Latte", ed è in via di pubblicazione. La rivista Il Latte è diffusa a livello locale e nazionale, ed è il più importante punto di riferimento per gli operatori del settore lattiero-caseario, si è ritenuto, quindi, importante diffondere i risultati del progetto tramite tale rivista. Inoltre, è stata preparata la bozza di un articolo scientifico da sottomettere a breve a una rivista peer review da parte di UNIPR.

È stato realizzato un opuscolo tecnico-divulgativo illustrante i risultati ottenuti.

I prodotti della presente azione sono allegati e in particolare: presentazioni a convegni appositamente organizzati (allegato 6), articoli divulgativi (allegato 7), abstract di articolo scientifico (allegato 8), opuscolo divulgativo del progetto (Allegato 9), brochure descrittiva dello strumento (allegato 10).

## 7. Conclusioni

Il progetto è stato concluso con successo e il prototipo sviluppato ha dimostrato eccellenti performances sia in termini di gestione che di risultati ottenuti, considerando anche la totale sicurezza per gli operatori.

È stato possibile rilevare dati complessi direttamente in caseificio e in tempi brevi, permettendo di formulare un processo di intervento e gestione del processo in modo realistico ed efficiente.



# UNIVERSITÀ DI PARMA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE  
MEDICO-VETERINARIE

L'accuratezza nell'identificazione di difetti a dodici mesi al fine di attribuire una categoria ad ogni forma è stata in generale ottima. Una particolare considerazione riguarda la classificazione delle forme S, S0 ed S1. Per queste categorie si è rivelato che sarebbe opportuno condurre uno studio ulteriore con una validazione accurata (apertura forma) per verificare se i difetti riscontrati con 3D siano reali in quanto la tecnologia TAC sembra essere in grado di evidenziare difetti che in altro modo non sono riscontrabili.

Il prototipo si è dimostrato particolarmente efficiente nel rilievo di difetti anche di piccola entità già a stadi precoci di stagionatura e questo permetterà di ottimizzare l'intero processo di produzione con un notevole beneficio per i caseifici che potranno agire tempestivamente e ottimizzare il valore delle produzioni.

## Prospettive future

Il sistema ha dimostrato eccellenti performances nell'individuazione di difetti anche negli stadi iniziali di stagionatura. Al fine di migliorare l'operatività e l'accuratezza delle valutazioni, gli obiettivi di medio e lungo termine sono quelli di effettuare ulteriori studi al fine di creare procedure completamente automatizzate ed efficienti per la valutazione delle immagini basate su intelligenza artificiale. Questi obiettivi garantiranno anche una migliore efficienza dei modelli di assistenza e gestione del processo che potranno essere basati su tecniche di Digital Twin e Internet of Things.

Il Responsabile Scientifico del Progetto