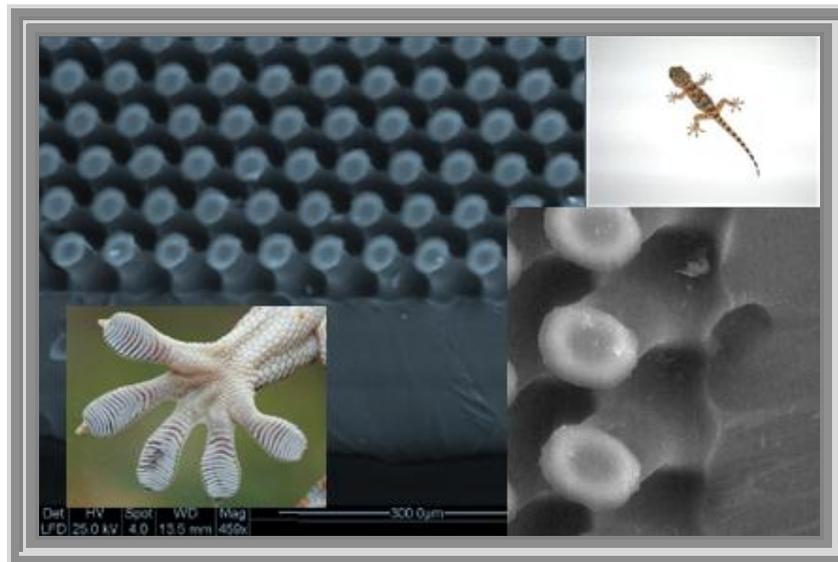




## Nanoattrito ed effetto Gecko



I materiali di NANOLAB, inclusa la presente scheda, sono proprietà degli autori di NANOLAB ([www.nanolab.unimore.it](http://www.nanolab.unimore.it)) e distribuiti con [licenza](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/) Creative Commons 3.0 **Versione: 13/07/2018**



**Figura 1 Gecko Tape® al microscopio SEM ed immagini di Gecko vivo**

L'attrito gioca un ruolo fondamentale nella vita quotidiana e nell'economia: circa un terzo del consumo delle attuali risorse energetiche mondiali è riconducibile a qualche forma di attrito. Rispetto alla macroscale, lo studio dell'attrito alla nanoscale, cambia completamente il quadro fisico: la nanotribologia riconduce infatti il comportamento dei sistemi tribologici alle forze atomiche. Dopo aver preso confidenza con gli effetti di superficie e le spettacolari proprietà delle superfici superidrofobiche vengono qui offerti semplici esperimenti dimostrativi e studi quantitativi, del comportamento di superfici nanostrutturate, con un occhio alle loro applicazioni attuali e futuribili. Sfruttando le dimensioni delle micro e nano strutturazioni si propongono esperimenti di diffrazione e con l'introduzione alle simulazioni software si studiano le interazioni atomiche e molecolari: una finestra aperta sul mondo della ricerca teorica ed uno strumento potente per la comprensione di concetti astratti, di fisica e di chimica, afferenti all'intero triennio secondario superiore ma in taluni casi proponibili anche in per un approccio introduttivo e coinvolgente alla fisica e alla chimica.



## Sommario

Sommario .....	2
DISCLAIMER.....	5
ISTRUZIONI GENERALI .....	6
INTRODUZIONE .....	7
Big idea #2: Una nuova gerarchia di forze- Nanotribologia .....	7
Aspetti teorici-Tribologia.....	7
 Inserimento nel curriculum .....	8
 Guida al percorso.....	9
<i>Note tecniche sul materiale Gecko Tape</i> .....	9
<i>Esempio: guida introduttiva alla lezione</i> .....	10
 <i>Quadro riassuntivo del percorso didattico</i> .....	11
<b>PARTE PRIMA- STUDIO QUALITATIVO DEL GECKO TAPE® - <i>Attività 1 e 2</i></b> .....	11
<i>Materiale occorrente (Attività 1 e 2)</i> .....	12
 <b>Attività 1: Adesione in aria</b> .....	13
<i>Procedimento</i> .....	13
Considerazioni.....	13
 <b>Attività 2: Adesione sotto vuoto</b> .....	14
Procedimento.....	14
Considerazioni.....	14
Suggerimenti .....	14
<b>PARTE SECONDA - MISURA DELLA FORZA DI ATTRITO VS. SUPERFICIE</b> .....	15
 Descrizione del percorso .....	15
 Percorso speed (piano inclinato) Attività 8-9-10.....	16
 Studio ottico Attività 11 .....	41
 Quadro Sinottico delle Attività.....	17



Layout sperimentali .....	18
---------------------------	----



Attività 3: Legno su carta vetrata .....	19
--	----

Materiale occorrente .....	19
----------------------------	----

Procedimento .....	19
--------------------	----

Suggerimenti .....	20
--------------------	----



Attività 4: Alluminio su carta vetrata.....	21
---	----

Materiale occorrente .....	21
----------------------------	----

Procedimento .....	21
--------------------	----

Suggerimenti .....	22
--------------------	----

I nostri risultati .....	22
--------------------------	----



Attività 5: Gecko su vetro: verticale .....	23
---	----

Materiale occorrente .....	24
----------------------------	----

Preparazione delle superfici.....	24
-----------------------------------	----

Procedimento .....	25
--------------------	----

Suggerimenti .....	25
--------------------	----

I nostri risultati .....	25
--------------------------	----



Attività 6: Vetro su Gecko tape® orizzontale.....	25
---	----

Materiale occorrente .....	26
----------------------------	----

Preparazione delle superfici.....	26
-----------------------------------	----

Realizzazione del trascinamento e criticità .....	27
---	----

Suggerimenti .....	27
--------------------	----

Scelta dei campioni e del numero di misure .....	28
--	----

I nostri risultati .....	29
--------------------------	----

Ipotesi sui meccanismi fisici sottesi.....	31
--	----

Riproducibilità .....	32
-----------------------	----

Conclusioni .....	33
-------------------	----



Consigli per i docenti : .....	33
--------------------------------	----

<i>Inserimento dello studio gecko su vetro nel percorso complessivo</i> .....	33
---	----



Attività 7: Alluminio su Gecko tape® orizzontale .....	34
--	----



Procedimento.....	35
Suggerimenti .....	36
I nostri risultati .....	37
 Attività 8-9 e10: Prove col piano inclinato .....	38
Materiale occorrente .....	38
Procedimento.....	38
Suggerimenti .....	38
I nostri risultati .....	39
Indicazioni pratiche: .....	40
<b>PARTE TERZA</b> – STUDIO OTTICO .....	41
Conclusioni: Il segreto del gecko tape ® e la biomimetica .....	42
I materiali biomimetici .....	43



## DISCLAIMER

**DISCLAIMER:** Gli esperimenti descritti nel seguente documento utilizzano strumenti e sostanze chimiche che vanno utilizzati secondo le specifiche MSDS e le regole di sicurezza vigenti nelle scuole. Le indicazioni per la sicurezza personale devono essere seguite come indicato. Come sempre nell'uso di sostanze chimiche o apparati di laboratorio siate prudenti. Le sostanze solide non devono essere inalate o entrare in contatto con pelle, occhi o vestiti. Lavarsi bene le mani dopo l'uso. I residui vanno trattati come indicato. I dispositivi in vetro devono essere maneggiati con particolare cautela o sostituiti con analoghi in plexiglas. Tutti gli esperimenti devono essere condotti in presenza dell'insegnante specializzato nell'insegnamento delle scienze. Tutti gli esperimenti saranno svolti sotto la vostra responsabilità. L'intero team di NANOLAB declina ogni responsabilità su danni o perdite che possano derivare da un uso improprio di sostanze, strumenti e protocolli nello svolgimento degli esperimenti qui riportati.



## ISTRUZIONI GENERALI

Questa Guida Docenti illustra gli esperimenti sulle superfici nanostrutturate presenti sul sito [www.nanolab.unimore.it](http://www.nanolab.unimore.it)

[Home > Laboratori > Superfici nanostrutturate e nanotribologia](#)

Oltre a descrivere in dettaglio preparazione ed esecuzione degli esperimenti, la guida contiene proposte di contesti didattici in cui i protocolli sperimentali possono essere inseriti, rimandi a materiali di approfondimento, istruzioni su come acquisire i materiali necessari in aggiunta alle normali attrezzature di laboratorio. Le attività sono numerate (1, 2, ...) e corrispondono agli esperimenti ugualmente numerati presenti sul sito [www.nanolab.unimore.it](http://www.nanolab.unimore.it).

Sul sito [www.nanolab.unimore.it](http://www.nanolab.unimore.it), oltre alla presente guida, sono disponibili anche le schede di laboratorio per gli studenti, presentazioni da utilizzare in classe per spiegare l'argomento in aula, oltre a una estensiva serie di materiali di approfondimento per il docente (background reading).

Nella guida vengono utilizzati alcuni simboli. Qui di seguito la loro spiegazione:

	Indica un <b>laboratorio di carattere dimostrativo</b> e qualitativo. Questi esperimenti sono di esecuzione particolarmente semplice, richiedendo pochissimo materiale. Sono perciò adatti ad essere eseguiti anche in classe.
	<b>Esperimento quantitativo</b> , implica acquisizione di dati. Il numero di beute indica il grado di difficoltà.
	Indicazione relativa alla <b>sicurezza</b> di persone o cose (strumentazione, materiali).
	<b>Note di tipo tecnico</b> : suggerimenti, modalità di lavoro alternativo.
	<b>Suggerimenti e analisi di tipo didattico</b> .
	Uso di <b>simulazioni al computer</b> del fenomeno osservato o esperimenti virtuali.
	I codici QR rendono possibile accedere tramite il proprio tablet o smartphone alla pagina della videoguida al laboratorio sul sito o ai video di raccolta dati.
	Risorsa multimediale



## INTRODUZIONE

### Big idea #2: Una nuova gerarchia di forze- Nanotribologia

Alla nanoscala assistiamo ad una diversa gerarchia delle forze tra i corpi. Il rapporto esaltato tra superficie e volume combinato con le piccole masse in gioco rendono dominanti le forze elettromagnetiche ed intermolecolari rispetto alla gravità.

### Aspetti teorici-Tribologia

La tribologia è la scienza che studia l'attrito, la lubrificazione, l'usura e l'adesione tra superfici di contatto con i diversi fenomeni connessi quali ad esempio le fratture o la plasticità; per essa è perciò di fondamentale importanza ciò che accade all'interfaccia dei materiali.

Alla nanoscala il rapporto superficie/volume è particolarmente esaltato, ciò potenzia l'effetto del le forze 'resistive' come l'attrito, l'adesione, la tensione superficiale, ecc., che crescono proporzionalmente all'area (reale) ma che decrescono mille volte di meno di quelle proporzionali al volume, come ad esempio la gravitazione. Quindi mentre alla macroscala la forza gravitazionale prevale ed in qualche modo "maschera" molti degli effetti legati alle interazioni atomiche e molecolari, la nanoscala li esalta e diventa il luogo ideale ove indagarli e comprenderli.

Ciò che soprattutto distingue la nanotribologia dalla macrotribologia è il ruolo dominante delle forze atomiche/di superficie nel determinare il comportamento finale del sistema, che in certi casi appare decisamente controintuitivo. Basti pensare che l'attrito alla nanoscala dipende dall'area di contatto e dalla velocità di scivolamento o che i lubrificanti liquidi tradizionali diventano troppo viscosi quando risultano confinati in spessori di dimensioni molecolari.

Nella vita reale la causa dell'attrito radente è spesso individuata nelle asperità tra superfici a contatto. In realtà se si guarda bene, esso è dovuto soprattutto a fenomeni di adesione tra tali superfici: lastre metalliche lucidate a specchio in condizioni di vuoto spinto possiedono un coefficiente di attrito enorme. Di contro rendere più rugosa una superficie può addirittura ridurre l'attrito, questo fenomeno, apparentemente bizzarro, può essere facilmente intuito con esempi meccanici ponendo in contatto due che presentano "rugosità" incommensurabili.

La comprensione dei meccanismi di interazione atomica ha consentito lo sviluppo di lubrificanti di nuova generazione ove negli oli vengono inserite molecole che funzionano come una sorta di collante fra olio e superficie metallica (additivi chimici); queste molecole aderiscono alle asperità del materiale metallico da un lato e alle molecole di olio dall'altro, creano quindi uno strato di olio all'interfaccia ed impediscono il contatto metallo-metallo e quindi l'usura.

La conoscenza approfondita dei meccanismi nanotribologici diventa poi assolutamente imprescindibile nelle tecnologie di miniaturizzazione elettronica MEMS e NEMS (Micro e Nano Electro-Mechanical Systems) che sfruttano le proprietà elettriche e meccaniche del materiale (in genere silicio) per integrare dispositivi elettronici e meccanici su un unico microcip in grado di misurare ad es. vibrazione, inclinazione, accelerazione, etc... ne è un esempio l'accelerometro ormai presente in ogni smartphone o tablet e grazie al quale è possibile attivare la funzione di rotazione



automatica dell'immagine <sup>1</sup> La criticità dei movimenti a questa scala di integrazione è elevatissima e benchè si sia ormai arrivati ad una accuratezza senza precedenti nella loro progettazione e fabbricazione, esistono ancora limiti riguardo la loro reale applicabilità e durata, drammaticamente ridotte proprio a causa del fenomeno dell'attrito e delle contaminazioni. L'adesione tra componenti adiacenti, la potenza relativamente bassa dei dispositivi e la contaminazione delle superfici, possono rendere difficile o anche ostacolare completamente il loro funzionamento. Anche la condensazione capillare del vapore acqueo presente nell' ambiente può costituire un problema.



## Inserimento nel curriculum

Le attività sulle superfici nano strutturate si prestano molto bene ad essere inserite in alcuni temi curricolari tradizionali, permettendo di completarli ed approfondirli in una nuova prospettiva, quella della materia studiata alla nanoscala, con la possibilità di agganci di tipo interdisciplinare tra chimica, fisica e biologia.

Sono qui suggeriti alcuni possibili percorsi in cui inserire utilmente le attività descritte:

a) **Forze**- Se si passa dalla macro alla nanoscala la gerarchia delle forze a noi nota va riconsiderata. Alla nanoscala le proprietà degli oggetti sono dominate dalle interazioni di superficie e l'effetto della gravità è spesso trascurabile. Le forze elettromagnetiche e le forze intermolecolari assumono un ruolo predominante a causa delle dimensioni e delle piccole masse in gioco, nonché del fatto che gran parte degli atomi e delle molecole è esposta alla superficie. Forze come quelle di Van der Waals, che possono essere ignorate alla macroscale, diventano molto importanti. In questo modulo si parla in particolare di adesione, coesione, capillarità, attrito.

b) **Interazioni atomiche e struttura della materia**- Le interazioni di superficie possono essere lo spunto per l'approfondimento della struttura della materia e delle leggi che regolano gli equilibri delle forze tra atomi e molecole.

c) **Attrito alla macro, micro e nanoscala e grandezze meccaniche**- Con un apparato sperimentale estremamente semplice e disponibile in ogni laboratorio, o facilmente realizzabile anche in casa o con materiali di recupero, è possibile osservare e confrontare i diversi fenomeni, prendere consapevolezza controllo del sistema sperimentale e dei parametri fisici in gioco (forze, reazioni vincolari, baricentro, resistenza del materiale...) , operare analisi dei dati (ad esempio con un foglio di calcolo) e determinare grafici ed andamenti da cui desumere il comportamento dei materiali.

d) **Diffrazione**- Lo studio morfologico del materiale "sconosciuto" gecko -Tape può essere fatta sua utilizzando un microscopio ottico sia andando a rilevare le figure di diffrazione in due prospettive

- **a scopo dimostrativo** Se la classe ha già affrontato l'argomento diffrazione il Gecko diventa il "reticolo" da utilizzare per visualizzare (sul muro della classe) la figura di diffrazione e sfruttando l'elasticità del materiale è possibile deformarlo, per trazione, e visualizzare le modifiche e dalle misure desumerne le dimensioni

---

<sup>1</sup> Il cui funzionamento trovate descritto nel Background reading della sezione Nanoattrito ed effetto Gecko



- **in un'ottica costruttivista** : si può mostrare la figura di diffrazione del gecko ed eventualmente di un reticolo poi fornire agli studenti un microscopio ottico con cui indagare i due campioni chiedendo loro di desumerne le caratteristiche geometriche.

La descrizione dettagliata dello studio ottico del gecko Tap® si trova nella sezione "Un'ottica diversa", un capitolo dedicato allo studio dell'ottica classica attraverso l'utilizzo di un materiale innovativo.



## Guida al percorso

### Note tecniche sul materiale Gecko Tape

Questo nastro biadesivo si ispira alla struttura delle zampe del gecko, lo scalatore più formidabile che esista in grado di arrampicarsi lungo superfici specchiate verticali o camminare a testa in giù sul soffitto sostenendo pesi che arrivano addirittura a 40 volte quello della sua massa corporea, come se un uomo di 70 Kg reggesse un grosso fuoristrada a pieno carico. Mentre le zampe del gecko sono effettivamente nano strutturate le strutture del Gecko Tape® hanno dimensioni micrometriche; sono realizzate su un film di silicone di spessore inferiore al millimetro che presenta circa 29.000 elementi per cm<sup>2</sup> di altezza dell'ordine delle decine di micrometri. E' un nastro adesivo strutturale che pur non raggiungendo le performance del Gecko presenta un'elevata area di contatto ed enfatizza le interazioni di Van der Waals principali responsabili dell'effetto adesivo. In figura si può vedere un'immagine ottenuta con il Microscopio a scansione elettronica (ESEM): in basso a destra si nota il riferimento di 300 µm in corrispondenza del quale si hanno circa 6 elementi del gecko ciò ci permette di valutare una distanza media fra gli elementi di circa 50-60 µm.

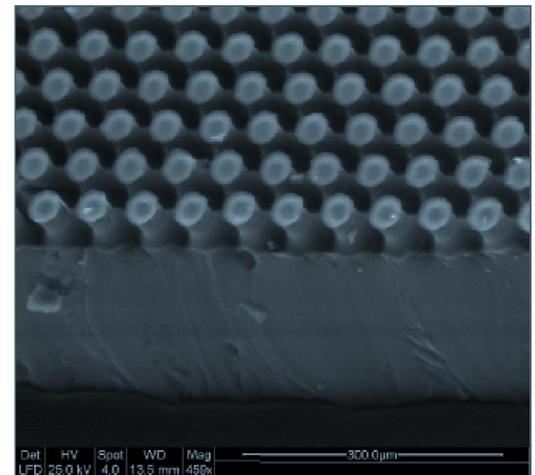


Figura 2 Immagine ESEM di Gecko-Tape in silicone

La sua **Adesione**, usualmente definita come lo stato in cui due superfici sono tenute insieme quando vengono applicate forze di distacco, dipende sia dall'area sia dalla direzione della forza applicata, in specifico si ha elevata adesione nel caso di sforzo parallelo al piano al quale è attaccato mentre, proprio come le zampe del geco, se sollevato perpendicolarmente al piano si stacca con grande facilità.

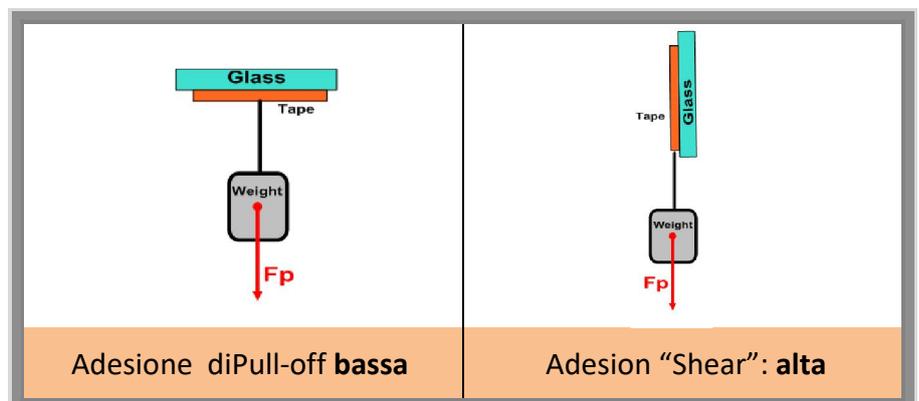


Figura 3 confronto adesione shear e pull off

L'argomento può essere introdotto proponendo una carrellata di semplici e divertenti esperienze



dimostrative, che sollecitano interrogativi riguardo al comportamento non scontato dei materiali nano strutturati. Si consiglia di non fornire agli studenti informazioni sulla struttura e le caratteristiche del materiale ma di procedere subito in **un'ottica Inquiry-based learning** lasciando agli studenti la possibilità di indagine, studio ed approfondimento guidato dalla risoluzione di problemi, scenari, domande che il docente potrà porre o costruire con loro.

### *Riferimenti sui materiali occorrenti*

Le specifiche fornite (dimensioni, masse, ecc) sono da considerare indicative, ogni docente potrà confrontare i nostri materiali e le nostre misure per valutare come e se adattare l'apparato sperimentale alle proprie esigenze o ai materiali che ha a disposizione, si è cercato di fornire quante più informazioni possibili sulle scelte operate e su eventuali problemi nelle sezioni "Suggerimenti" di ogni singolo esperimento

### *Esempio: guida introduttiva alla lezione*

Ricordiamo alcune definizioni relative alle forze d'interazione nei materiali:

Le **forze di adesione** sono dovute all'attrazione tra le molecole di sostanze diverse ad esempio fra quelle di una sostanza (liquida o solida) con quelle di una superficie di un solido; le forze di adesione tendono ad aumentare l'area di interfaccia. Le colle sono progettate per enfatizzare le forze di adesione e più superficie incolliamo più, in genere, garantiamo una buona "presa".

Le **forze di coesione**, sono forze di attrazione tra le molecole di una stessa sostanza, quelle che ad esempio sono responsabili dello stato solido del materiale .

Per fare un esempio consideriamo **l'acqua**:

- possiede una *forza di adesione*, che la fa aderire alle pareti del recipiente che la contiene
- possiede una *forza di coesione*, che tiene unite le sue molecole e che è la responsabile della formazione delle "gocce" con forma sferica o comunque tondeggianti.

I fenomeni di adesione e coesione si possono approfondire studiando le caratteristiche dei collanti e le relative interazioni molecolari, mentre rispetto all'interazione liquido solido abbiamo visto le superfici idrofobiche ed idrofiliche, l'effetto loto, l'effetto petalo e le biglie liquide trattate nella sezione loro dedicata. In questa sezione ci occupiamo dell'adesione solido- solido prendendo spunto dagli esempi che la natura ci offre.

La capacità unica di gechi di scalare pareti e rimanere sospesi al soffitto muovendosi anche con grande rapidità ha da sempre catturato l'attenzione degli studiosi. Le sue zampe non sono ricoperte da alcuna sostanza "adesiva" e la rapidità dei movimenti sottintende un **meccanismo di adesione** che il gecko riesce a controllare con precisione e rapidità: deve quindi essere in grado di agire sul parametro che gli garantisce l'adesione in modo da poterla ridurre al minimo nel momento in cui desidera staccare la zampa. Come pensate facciano?

Gli scienziati hanno studiato e capito questi meccanismi per poi iniziare a produrre materiali che ne imitano le proprietà un esempio è il Gecko Tape che avete a disposizione: andiamo ad indagarne le proprietà per cercare di capire come funziona:



## Quadro riassuntivo del percorso didattico

STUDIO QUALITATIVO	
Confronto Gecko tape® nastro adesivo in aria e in vuoto <b>Attività 1 e 2</b>	
<b>ATTRITO: dipendenza dalla superficie di contatto</b>	
Si suggerisce di partire dalla <b>prova n. 2</b> per evidenziare come nel caso classico la forza d'attrito non cambi al cambiare della superficie, questo fatto, antintuitivo, in genere sorprende i ragazzi spingendoli a riflettere; a quel punto si può scegliere fra tre percorsi che evidenziano come invece nel gecko tape ® la forza d'attrito dipenda fortemente dalla superficie:	
<b>PERCORSO ATTRITO BREVE</b>  <b>Attività 5 e 7:</b>	<b>PERCORSO ATTRITO LUNGO</b>  <b>Attività 5,6 e 7:</b>
<b>Percorso attrito very speed:</b> Piano inclinato <b>Attività 8-9-10</b>	
Alla luce dei risultati sperimentali si chiede agli studenti di immaginare come possa essere strutturato il gecko tape ® per poi passare allo studio ottico	
STUDIO OTTICO	
<b>Attività 11:</b> Diffrazione su gecko e Visione al microscopio ottico	

### PARTE PRIMA- STUDIO QUALITATIVO DEL GECKO TAPE® - *Attività 1 e 2*

Il nostro obiettivo indagarne le proprietà del Gecko Tape® per desumerne il meccanismo di funzionamento.

Possiamo confrontare anche il comportamento del Gecko tape® con quello di un nastro adesivo di uso comune, come ad esempio il nastro da pacchi e valutarne le differenze (attività 1)

Si invitano gli studenti a fare proposte poi escludendo la sostanza collosa, si verifica il funzionamento tipo ventosa (Attività 2)



### Materiale occorrente (Attività 1 e 2)

<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Un pezzo di gecko tape</li> <li>➤ Dello scoch da pacco</li> <li>➤ Un supporto verticale sufficientemente liscio ad es un vetro o un reggilibri da libreria</li> <li>➤ Macchina per il vuoto</li> <li>➤ Pesetti vari di diversi materiali con superfici lisce e rugose di varia forma fra cui parallelepipedi con altezza contenuta, a solo scopo orientativo indichiamo le misure dei nostri :</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Un parallelepipedo in alluminio (170 g) dimensioni in cm: 6,3x4x2,5</li> <li>➤ 2 rondelle in metallo di raggio 2 cm (circa 10 g l'una) o altro oggetto liscio di piccolo spessore</li> <li>➤ Un parallelepipedo in legno MDF (97g) con una superficie liscia dimensioni in cm: 6,5x5,1x2</li> <li>➤ Una piastra in alluminio dimensioni in cm: 12x2x2,2</li> <li>➤ Un cubetto di vetro di lato 2 cm</li> <li>➤ 2 gancetti a ventosa (tipo quelli per appendere gli asciugamani)</li> </ul>
--	---



Figura 4 Adesione di oggetti su Gecko tape® ( a sinistra) ed esempio di altri oggetti utilizzati per le prove di adesione verticale ed orizzontale (sopra) .

L'obiettivo è quello di prendere confidenza con il nuovo materiale e di stimolare curiosità, capacità di riflessione, attitudine ad approfondire; i ragazzi dovrebbero farsi delle domande, e magari darsi delle risposte.

Gli esperimenti hanno lo scopo di verificare il comportamento dei normali adesivi, ad esempio il nastro da pacco o altri tipi di nastri adesivi, di indurli ad interrogarsi per comprenderne il meccanismo. Il lavoro può essere assegnato a gruppi , alla fine delle prove si possono dare link a pagine internet dove approfondire gli argomenti, l'obiettivo finale è rispondere alla domanda

1. Come si comporta un adesivo standard e come un Gecko?
2. Qual è il meccanismo di adesione di un nastro adesivo da pacco
3. Qual è secondo te il meccanismo di adesione di un Gecko tape

Link suggeriti:

<a href="http://lem.ch.unito.it/didattica/infochimica/2010_Resine_Acricliche/frame_e.html">http://lem.ch.unito.it/didattica/infochimica/2010_Resine_Acricliche/frame_e.html</a>	colle
Filmati:	
<a href="https://www.youtube.com/watch?v=gzm7yD-JuyM">https://www.youtube.com/watch?v=gzm7yD-JuyM</a> (8'21")	Idea from nature
<a href="https://www.youtube.com/watch?v=piMki94wDR8">https://www.youtube.com/watch?v=piMki94wDR8</a> (0,14")	Football idea
<a href="https://www.youtube.com/watch?v=deHQfgFjkeM">https://www.youtube.com/watch?v=deHQfgFjkeM</a> (3'19")	pallone Football Shear adesion
<a href="https://www.youtube.com/watch?v=YeSuQm7KfaE">https://www.youtube.com/watch?v=YeSuQm7KfaE</a> (4' 29")	Gecko & Vd Walls story
<a href="https://www.youtube.com/watch?v=Mw-tol5ur84">https://www.youtube.com/watch?v=Mw-tol5ur84</a> (1',05")	Uman climbing
<a href="https://www.youtube.com/watch?v=hd5upt3lrWM">https://www.youtube.com/watch?v=hd5upt3lrWM</a> (6, 18")	insetti



## Attività 1: Adesione in aria

### Procedimento

**a. Adesione su nastro adesivo** – far aderire il nastro al supporto verticale e provare ad attaccare i diversi pesi, ponendo a contatto le diverse facce ed osservare quali pesi vengono mantenuti appesi e quali eventualmente scivolano; prestare attenzione anche al meccanismo di distacco in particolare se si stacca agevolmente o meno e se cambia qualcosa staccando il pezzo in direzione perpendicolare la piano di appoggio o “spellando” ossia staccando a partire da un bordo. Registrare le osservazioni.

**b. Adesione su gecko** – ripetere le operazioni precedenti e registrare le osservazioni

### Considerazioni

Dovreste aver osservato che l'adesione al gecko è influenzata non solo dalla massa dell'oggetto ma anche, fortemente, dalla sua forma e da quanto liscia sia la superficie; in particolare:

- aderiscono meglio oggetti di piccola altezza che cioè non esercitano una forza di flessione apprezzabile; questa, nel caso sia presente, determina di fatto uno scivolamento. È stato dimostrato<sup>2</sup> che il gecko tape<sup>®</sup> si stacca con una forza minima quando questa agisce perpendicolarmente alla superficie (shear adhesion).
- Le superfici lisce aderiscono meglio di quelle ruvide

Avete pensato quale potrebbe essere il processo di adesione?

Potremmo pensare a delle ventose?

Mettiamo a punto un esperimento per vedere se sono tante piccole ventose: la ventosa funziona per effetto della depressione che crea, con una macchina a vuoto si può quindi facilmente verificare.

---

<sup>2</sup> <https://robotics.eecs.berkeley.edu/~ronf/Gecko/gecko-compare.html>



## Attività 2: Adesione sotto vuoto

### Procedimento

Poniamo nella macchina a vuoto due supporti con le due rondelle uguali, una attaccata al gecko ed una sostenuta da una ventosa: facendo il vuoto la ventosa cade il gecko....?



Figura 5: Confronto Gecko tape ® ( a sinistra) e ventosa sotto vuoto: sequenza temporale crescente t1, t2, t3.

### Considerazioni

Dovreste aver osservato che l'adesione del gecko non è influenzata dalla presenza o meno di aria e non è quindi spiegabile in termini di "effetto ventosa", in realtà con l'utilizzo di un microscopio ottico è possibile vedere le "punte" della strutturazione del Gecko-Tape, che, essendo realizzato in materiale deformabile, appare formato da punte schiacciate, in parte simili a piccole ventose( v fig. 1 dell'immagine al microscopio a scansione elettronica).

Le dimensioni delle strutture del gecko non sono nanometriche bensì micrometriche ed è presumibile che la deformabilità del materiale intervenga nel meccanismo di adesione Effettuando, diverse prove con la macchina a vuoto e proseguendo ad estrarre aria per alcuni minuti dopo la caduta della ventosa in alcuni casi abbiamo visto cadere anche la rondella appesa al gecko ciò probabilmente sarebbe accaduto anche senza estrarre aria per un effetto di peeling ipotizzabile in caso di sostegno non perfettamente verticale o nel caso si utilizzi un gecko sporcato da usi precedenti o fatto aderire ad una superficie non precedentemente pulita e asciugata.

Tutti questi comportamenti, selettivi in direzione e fortemente influenzati dallo stato della superficie evidenziano come il meccanismo di adesione sia dovuto, quanto meno in prevalenza, alle interazioni interatomiche di superficie.

### Suggerimenti

Per evitare fenomeni di peeling utilizzare sempre campioni di basso spessore ed assicurarsi che il sostegno sia perfettamente verticale, se così non è si introduce una componente della forza peso normale al piano di adesione che può, anche per piccoli valori, favorire il distacco dal gecko.



## PARTE SECONDA - MISURA DELLA FORZA DI ATTRITO VS. SUPERFICIE

Premesso che esistono diversi tipi di Gecko tape, in letteratura esistono già molti dati sulle caratteristiche di questi materiali ma ancora assai poco sulla dipendenza della forza di attrito dalla sua superficie, con diverse prove andremo ad indagare questo aspetto che confronteremo con l'analogo comportamento di materiali di uso comune (es carta vetrata.... si può chiedere allo studente di scegliere i materiali o chiedere loro perché il suggerimento della carta vetrata potrebbe essere conveniente).

Nello studio utilizzeremo tre diversi layout schematizzati nelle figure 3,5 e 5 e che denomineremo rispettivamente orizzontale, verticale e con piano inclinato. In particolare il layout verticale di fig.4 corrisponde alla configurazione di misura presentata in diversi lavori scientifici ed è stato scelto anche per confrontare con tali situazioni le nostre misure.

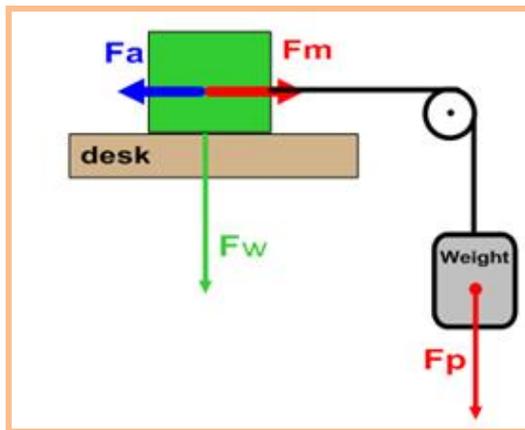


Figura 6 Layout orizzontale

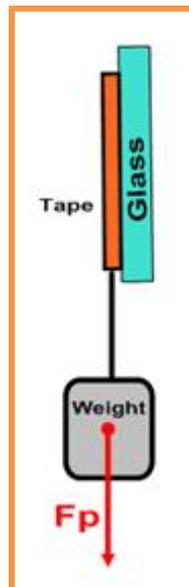


Figura 7 layout verticale

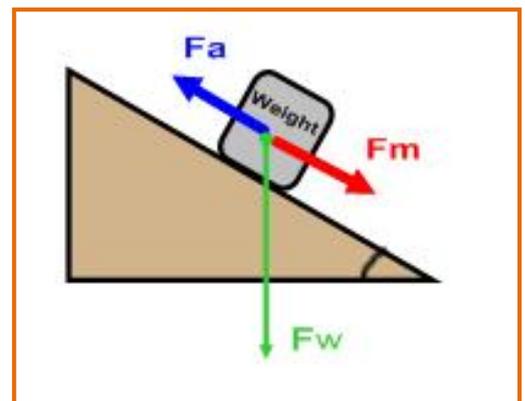


Figura 8 layout con piano inclinato



### Descrizione del percorso

**L'attività 5** layout verticale; evidenzierà come la parte di gecko- tape non aderente al vetro si deforma sotto il peso generando di fatto un gradiente di trasmissione delle forze dal bordo del vetro verso il suo centro, come ciò influenzi la risposta del sistema portando anche alla rottura del gecko.

**Nell'attività 6** poniamo il gecko fra due lastre di vetro e trasciniamo quella superiore: qui l'adesività del materiale diventa più uniforme e molto alta, la prova può essere fatta sia in modo qualitativo che quantitativo:

- **attività 6 qualitativa:** si effettuano poche misure (anche solo 1 per ogni valore di superficie del gecko) e si verifica prima di tutto come le forze in gioco siano molto maggiori rispetto a quelle



misurate nella prova col gecko verticale sia la presenza di una evidente dipendenza dalla superficie. Già qui ci si potrebbe fermare.

- **attività 6 quantitativa:** effettuare diverse misure per ogni valore di superficie ed ottenere una buona statistica richiede:
  1. Cura dell'apparato sperimentale, degli allineamenti delle forze e dei baricentri, del posizionamento
  2. Tenacia e tempo: a volte il gecko si stacca dal vetro inferiore e non da quello superiore, oppure ruota (se la forza non passa esattamente per il baricentro), a causa dell'elevato valore della forza d'attrito per le superfici maggiori le masse di acqua in gioco diventano elevate (noi abbiamo superato gli 8 kg) con le ovvie conseguenze in termini di tempo di misura, bilancia e contenitori adeguati.

**L'attività 7** utilizza la maggior parte delle attrezzature della 6 dove però la lastra di vetro superiore viene sostituita da una piastra in Alluminio che presenta diversi vantaggi:

- Il coefficiente di attrito minore richiede masse di acqua inferiori e riduce i tempi di misura
- L'ottima adesione del Gecko sul sottostante in genere garantisce il distacco dell'Al superiore evitando arrotolamenti o rotazioni, ciò riduce i tempi, gli errori e consente di ottenere aree crescenti utilizzando più pezzi in modo additivo
- La semplicità di aggancio della piastra (foro passante nell'alluminio) migliora il controllo dei baricentri e di conseguenza la riproducibilità delle misure



### **Percorso speed (piano inclinato) Attività 8-9-10**

Propone le misure utilizzando il piano inclinato generalmente a disposizione di tutti i laboratori didattici su di esso si fissano i campioni di Gecko o di carta vetrata su cui poi si poggia il peso di metallo, legno (o altro materiale) e si misura l'angolo a cui si ha il distacco

- riduce al minimo l'apparato sperimentale ed i tempi di misura
- I pesi devono avere altezza ridotta per evitare fenomeni di ribaltamento (distacco non shear).
- errori accidentali dovuti all'operatore, scarsa riproducibilità ed accuratezza dei dati
- possibili misure qualitative su diversi campioni e materiali in tempi brevi
- pochi punti di misura: l'area del campione deve essere ricopribile dalla base del blocchetto

Le tre attività sono state suddivise nell'esposizione del percorso con lo scopo di dare chiarezza didattica, trattandosi di fatto di una prova identica in cui cambia solo il materiale dei campioni ed il pesetto utilizzato, viene riportata una sola scheda di lavoro che le raggruppa



## Quadro Sinottico delle Attività

Attività (tempi)	Tipo di prova	Scopo	Caratteristiche e limiti
	Attrito vs superficie	Macro e micro a confronto	Ottimo per "Inquiry based learning"
3 (1h)	Legno su carta vetrata orizzontale	Verifica del comportamento "classico" di Fa vs. Area	Buona riproducibilità e accuratezza
4 (1h)	Alluminio su carta vetrata orizzontale	Verifica del comportamento "classico" di Fa vs. Area	Buona riproducibilità ed accuratezza, confrontabile con l'attività 5
5 (1h)	Gecko su vetro: verticale	Evidenziare l'elasticità del gecko la deformazione e l'influenza sulle misure	Fa non uniforme distribuita sulla superficie. Possibili Rotture del gecko
6 (1÷3h)	Vetro su Gecko-tape orizzontale   Sconsigliato x studenti	Studio delle criticità del sistema (baricentro, equilibrio delle forze, peeling e shear, tipo di contatto, attriti parassiti)	Criticità nella costruzione dell'apparato. Influenza dell'adesione vetro-vetro molto forte a superfici basse. Misure lunghe con pesi coinvolti maggiori.
7 (2h)	Alluminio su Gecko-tape orizzontale	Migliore uniformità di Fa sulla superfici e correzione delle criticità dell'attività 6	Influenza adesione instabile solo a valori bassi di area Misure più rapide e accurate che nell'attività 6
	Piano inclinato	Macro e micro a confronto	veloce
8 (1h)	Alluminio su Gecko tape ®	Valutazione qualitativa del comportamento del materiale nanostrutturato	Misure molto rapide Minore accuratezza
9 (1h)	Legno su carta vetrata	Valutazione qualitativa del comportamento classico- <u>materiali poveri</u>	Misure molto rapide Minore accuratezza
10 (1h)	Alluminio su carta vetrata	Valutazione qualitativa del comportamento classico	Misure molto rapide Minore accuratezza
	Studio ottico	Interaz. radiazione materia	
11 (2h)	Diffrazione su Gecko	Verifica della microstrutturazione	Apparato sperimentale
	Visione al microscopio	Verifica della microstrutturazione	Apparato sperimentale



## Layout sperimentali

<p>Layout di misura</p>	<p>Bilanciamento delle forze</p>	<p>Sopra: massa=28 g Fp=0,27 N</p>	<p>A destra: Mass=978g Fp=9,59 N Notare la deformazione</p>

Figura 8 Layout verticale: A destra la foto del Gecko non caricato e dello stesso pezzo di Gecko sottoposto a quasi 1kg

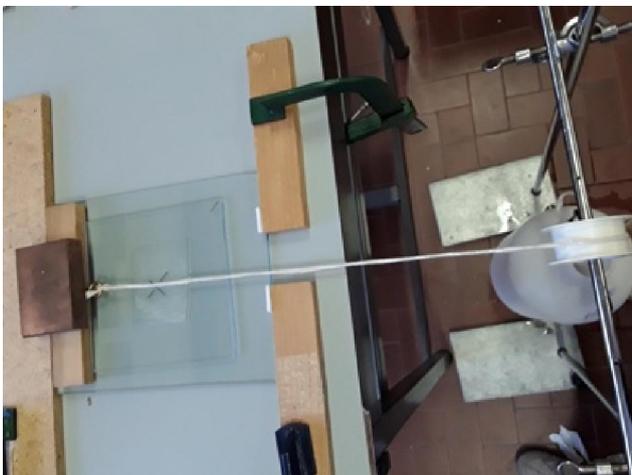
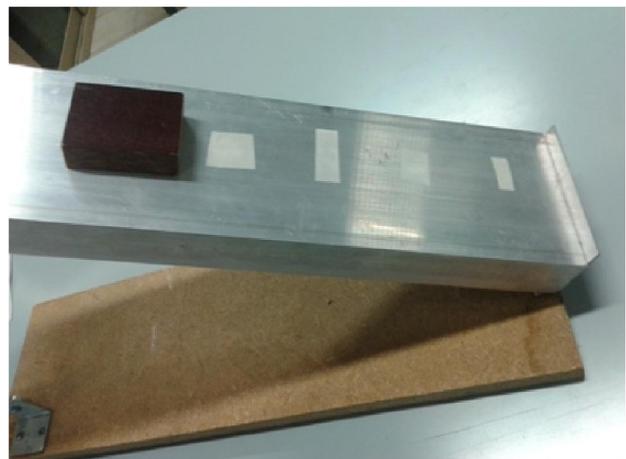


Figura 10 Campioni di Gecko tape e di carta vetrata (sopra) Layout piano inclinato (sotto)

Figura 9 misure con piano inclinato: i campioni devono essere contenuti nell'area di base del peso

Figura 11 Layout orizzontale Attività 4-5-6-7

Andremo a misurare la forza necessaria per togliere il sistema, formato da di due superfici a contatto, dalla condizione di equilibrio ed analizzeremo la dipendenza o meno della forza di attrito dalla superficie. Useremo in un caso  $n$  rettangoli di gecko tape® e nell'altro  $n$  pezzi di carta vetrata, ad area crescente e il più possibile





uguale. Per una valutazione quantitativa n deve essere **almeno 4**, meglio se 6-8, per garantire un minimo di confronto in caso contrario possono bastare 2 pezzi per ciascun materiale ma con aree molto diverse tra loro.



### Attività 3: Legno su carta vetrata

**Suggerimento:** si consiglia di tagliare subito ed in concomitanza i 4 pezzi con superfici diverse di gecko tape® e di carta vetrata in modo da rendere le due prove confrontabili

### Materiale occorrente

- ✓ 1 lastra in vetro o un piano di appoggio liscio e piano
- ✓ Blocchetto in legno con area di base A
- ✓ Carta vetrata tagliata in almeno 4 pezzi con aree diverse ma tutte contenute in A (così il blocchetto ricopre sempre il campione di carta vetrata)
- ✓ Blocchetti in metallo da usare come pesi aggiuntivi
- ✓ Corde inestensibili (es cavo in plastica rigida da giardino) o Filo per pescatori (bava da pesci)
- ✓ Barre sostegni e morse per fissare il sistema
- ✓ Nastro biadesivo, feltrini (quelli per le sedie)
- ✓ Forbici, 1 rocchetto, gancio in metallo
- ✓ Contenitori per acqua (vasetto da yogurt da 500g con due fori ed un corda passante)
- ✓ Brocche di acqua
- ✓ Bilancia da cucina

### Procedimento

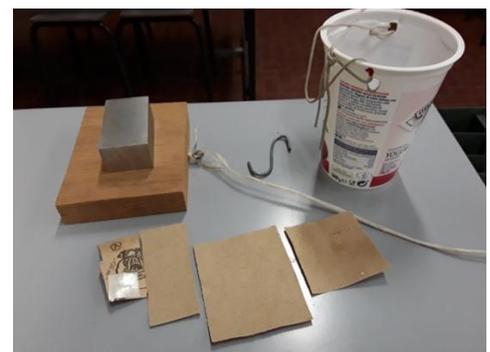
- ✓ Si realizza il layout orizzontale descritto in fig 5 e riportato a destra in fig 13 ;
- ✓ Fare due fori opposti vicino ai bordi superiori del vasetto di yogurt (ad esempio con una molletta arroventata ed un accendino in modo da forare senza far crepare la plastica) poi infilarvi una corda ed annodare, collegarvi poi un uncino in metallo tipo portautensili da cucina.
- ✓ Collegare il filo al blocchetto in legno avendo cura di attaccarlo il più possibile verso la base di appoggio
- ✓ Col nastro biadesivo incollare al vetro uno dei pezzi di carta vetrata porvi sopra il legno, il più possibile centrato e parallelo al piano.
- ✓ Porre il filo collegato al legnetto sopra la carrucola e regolarne l'altezza fino a rendere il filo il più possibile



Figura 12 campioni di carta vetrata blocchetto in legno e pesetto



Figura 13 Layout completo (sopra) e parte del materiale (sotto)





parallelo al piano d'appoggio

- ✓ Attaccare il vasetto da yogurt e versare acqua fino a mettere in moto il sistema ppi pesare la massa di acqua con la bilancia. Ripetere più volte per ogni campione

## Suggerimenti

**L'importanza del baricentro** Se il filo di trascinamento del blocchetto in legno non è centrato la retta d'azione della forza applicata non passa per il baricentro e si genera una coppia di forze (quella di attrito e quella applicata) che fanno ruotare il legno;

**Il pesetto** ha lo scopo di aumentare la forza d'attrito e rendere più stabile l'appoggio sulla carta vetrata, va scelto per rendere la Forza con un'intensità compresa nell'intervallo realizzabile con l'acqua del nostro contenitore (per noi massa massima di acqua 450 g peso complessivo legno+blocchetto di alluminio 111g+170g).

**Il filo** deve essere il più possibile parallelo al piano di appoggio per rispettare la direzione di shear

**Feltrini paracolpi:** nel lato verso cui avviene il trascinamento del legno si pone una barriera con due legnetti a cui si incollano due feltrini (bianchi in fig. 13) che addolciranno l'urto nle momento in cui la forza peso della massa di acqua supera quella di attrito statico e il legno si mette in moto.

## I nostri risultati

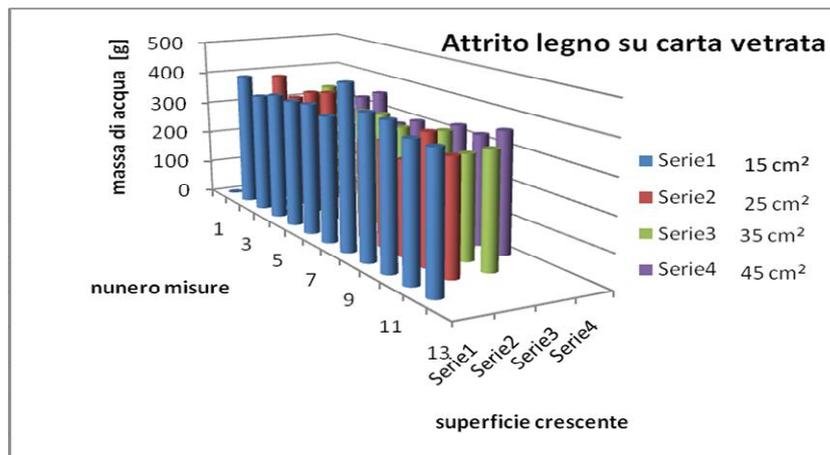


Figura 14 Massa di acqua necessaria per mettere in movimento un legno di massa 111+170 g su campioni di carta vetrata a superficie crescente 15,25,35,45 cm<sup>2</sup> Si noti l'indipendenza dall'area

In accordo con le leggi dell'attrito si verifica che la forza d'attrito non cambia al variare della superficie del campione, nel grafico sopra sono riportate tutte le misure effettuate; le oscillazione dei valori rientrano nell'errore sperimentale principalmente legato alla capacità dell'operatore di controllare le criticità indicate nei Suggerimenti e nel bloccare immediatamente di immettere acqua non appena il legno si muove. Si noti in particolare come diverse misure per superfici elevate siano persino più basse di quanto rilevato ad aree minori. La ragion e di un

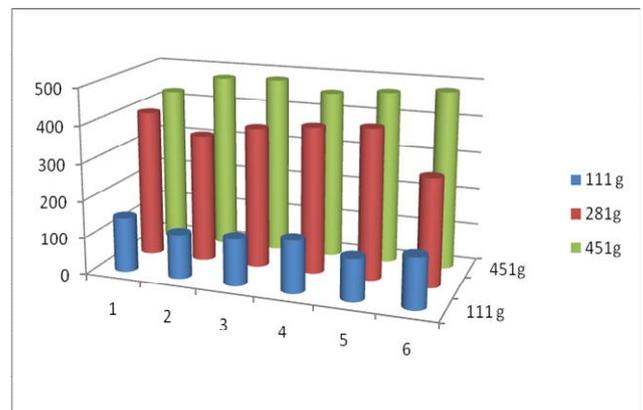


Figura 15 dipendenza della forza d'attrito dalla forza normale applicata



tale comportamento anomalo risiede nel fatto che ciò che entra in gioco nei fenomeni d'attrito non è l'area macroscopica bensì l'area di contatto reale. Dipendenza della forza d'attrito dalla forza normale. Può essere verificata con lo stesso apparato: risultati ottenuti riportati nella fig.15.



#### Attività 4: Alluminio su carta vetrata

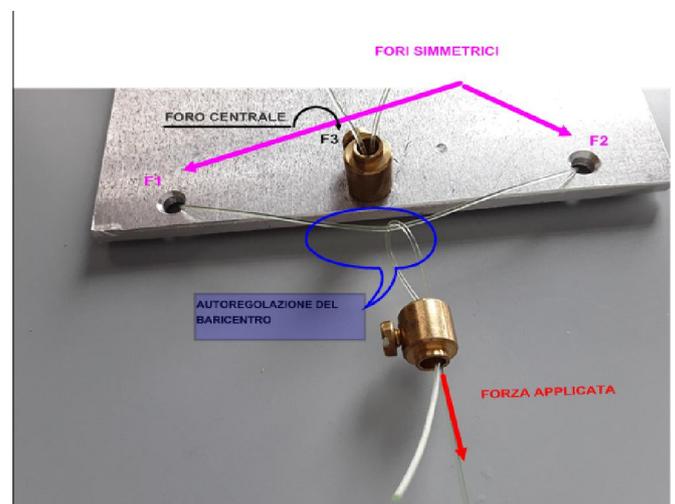
Suggerimento: si consiglia di tagliare subito ed in concomitanza i 4 pezzi con superfici diverse di gecko tape® e di carta vetrata in modo da rendere le due prove confrontabili

#### Materiale occorrente

- ✓ 1 lastra in vetro o un piano di appoggio liscio e piano
- ✓ Lastra di alluminio con 3 fori (F1, F2 ed F3 in fig 16) di cui F3 centrale ed F1 ed F2 perfettamente simmetrici
  - dimensioni in mm 300x98x2
  - massa 246g
- ✓ Carta vetrata tagliata in almeno 4 pezzi con aree diverse ma tutte contenute in nella lastra che così ricopre sempre il campione di carta vetrata
- ✓ Blocchetti da usare come pesi aggiuntivi
- ✓ 1 rocchetto
- ✓ Corde inestensibili es filo per pescatori (bava da pesci)
- ✓ Barre sostegni e morse per fissare il sistema
- ✓ Nastro biadesivo
- ✓ Forbici
- ✓ Contenitori per acqua (vasetto da yogurt da 500g con due fori ed un carda)
- ✓ Brocche di acqua
- ✓ Bilancia da cucina



Figura 16: Layout alluminio su carta vetrata (sopra) ed aggancio della slitta in alluminio (sotto)



#### Procedimento

- ✓ Si realizza il layout orizzontale descritto in fig 5 e riportato a destra in fig 15 ;
- ✓ Nella slitta in alluminio è cruciale fare fori simmetrici per evitare la creazione di coppie di forze che alterino il movimento rettilineo; l'aggancio è realizzato tramite un anello di filo inestensibile che può scorrere su un medesimo filo di aggancio passante per i fori, ciò consente l'autoregolazione del baricentro e una migliore



Figura 13 contenitore per l'acqua realizzato con materiali poveri



riproducibilità delle misure.

- ✓ Fare due fori opposti vicino ai bordi superiori del vasetto di yogurt (ad esempio con una molletta arroventata ed un accendino in modo da forare senza rompere la plastica) poi infilarvi una corda ed annodare, collegarvi poi un uncino in metallo tipo portautensili da cucina.
- ✓ Collegare il filo alla lastra di alluminio avendo cura di centrare il punto di applicazione della forza
- ✓ Col nastro biadesivo incollare al vetro uno dei pezzi di carta vetrata porvi sopra il legno, il più possibile centrato e parallelo al piano.
- ✓ Porre il filo collegato al legnetto sopra la carrucola e regolarne l'altezza fino a rendere il filo il più possibile parallelo al piano d'appoggio
- ✓ Attaccare il vasetto da yogurt e versare acqua fino a mettere in moto il sistema ppi pesare la massa di acqua con la bilancia. Ripetere più volte per ogni campione

## Suggerimenti

**L'importanza del baricentro** Se il filo di trascinamento non è centrato la retta d'azione della forza applicata non passa per il baricentro e si genera una coppia di forze (quella di attrito e quella applicata) che fanno ruotare la piastra di Al e falsa la misura

**Il pesetto** ha lo scopo di aumentare la forza d'attrito e rendere più stabile l'appoggio sulla carta vetrata, va scelto per rendere la Forza con un'intensità compresa nell'intervallo realizzabile con l'acqua del nostro contenitore (per noi massa massima di acqua 450 g peso complessivo lastra in alluminio+blocchetto di alluminio 246g+170g).

**Il filo** deve essere il più possibile parallelo al piano di appoggio per rispettare la direzione di shear ed il campione deve essere incollato al piano inferiore su tutta la propria superficie per aumentare la stabilità.

**Trascinamento:** nel momento in cui la forza peso della massa di acqua supera quella di attrito statico e la slitta in alluminio si mette in moto è importante **tenere le mani accanto all'alluminio per bloccarlo**. La massima stabilità si ottiene con campioni quadrati.

## I nostri risultati

Le misure possono essere agevolmente effettuate in numero considerevole offrendo quindi la possibilità di effettuare rielaborazioni utilizzando ad esempio un foglio di calcolo come excel o calc. A titolo puramente indicativo, per mostrare la discreta riproducibilità delle misure in figura 19 abbiamo riportato due grafici della distribuzione dei valori riscontrati per due pezzi. L'elevata dispersione è legata ai tanti parametri in gioco da controllare al meglio, si citano per importanza i seguenti consigli:

Nel grafico della figura 18 si verifica come la forza d'attrito di Al su carta vetrata sostanzialmente non dipenda dall'area del campione; per quello con superficie  $38 \text{ cm}^2$ , di forma rettangolare ( $9,5 \times 4 \text{ cm}$ ) si sono eseguite misure nei due diversi orientamenti rispetto alla direzione di trascinamento, nel primo caso, verticale, il lato lungo è parallelo alla direzione di trascinamento, viceversa nel caso orizzontale è il lato corto ad essere parallelo alla direzione di trascinamento. La differenza registrata rientra nell'errore sperimentale tuttavia, il valore inferiore nel caso del lato corto è coerente con una minore stabilità del contatto campione slitta dovuto a lievi basculamenti più pronunciati in quel



caso, in generale si sottolinea come la risposta complessiva sia migliore usando campioni quadrati, è poi lasciato alle scelte didattiche del docente optare per lasciare agli studenti maggiori gradi di libertà quindi di sperimentazione e scoperta.

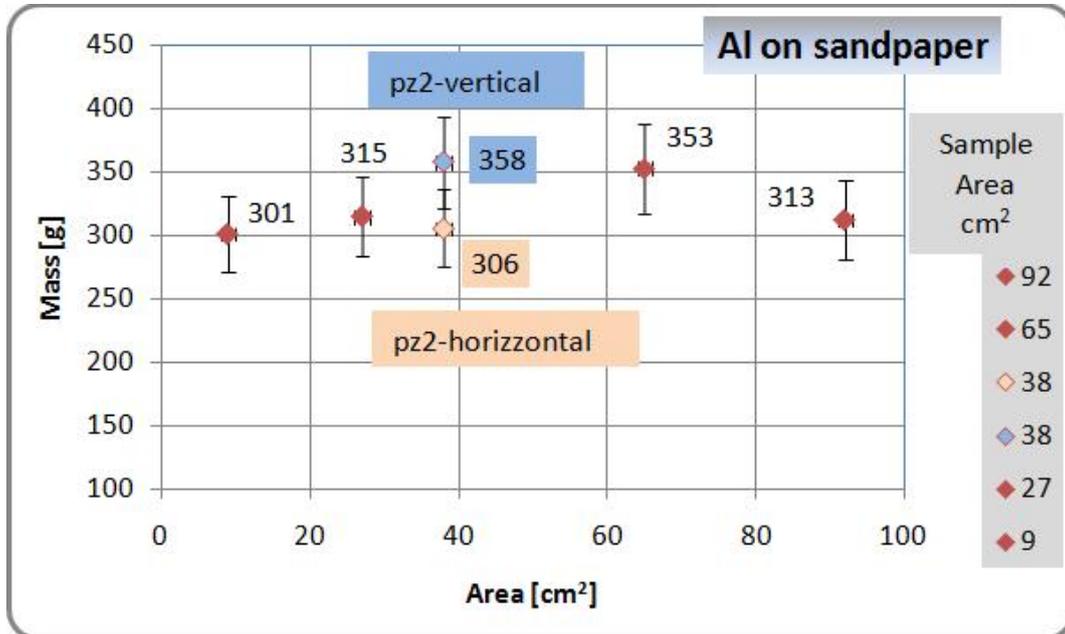


Figura 14 Grafici realizzati con excel: Forza d'attrito in funzione dell'area del cam

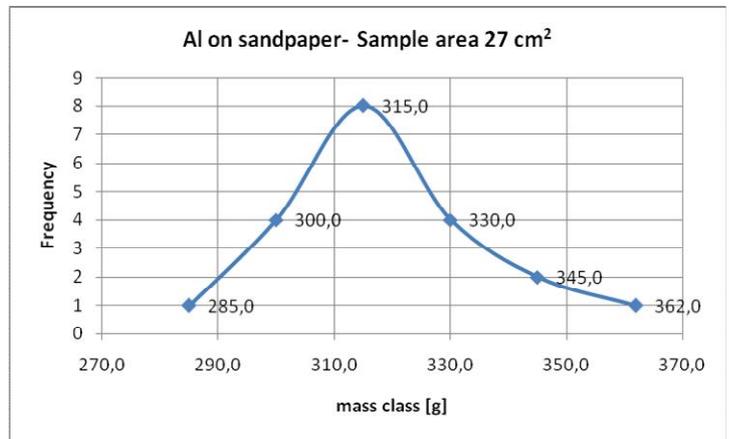
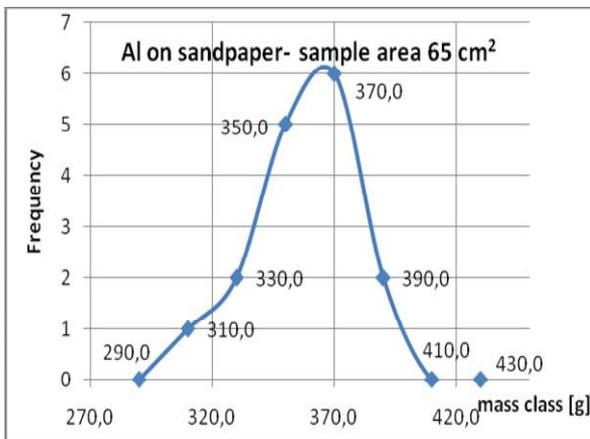


Figura 15 Grafici realizzati con excel: due distribuzioni dei valori rilevati per due diversi campioni



### Attività 5: Gecko su vetro: verticale

Si tratta di una prova essenzialmente qualitativa, abbastanza rapida e utile per mettere in luce le



caratteristiche di elasticità del gecko che lo rendono fortemente tenace nella sua adesione al vetro ma anche deformabile. Sottoposto a carico elevato tende a rompersi piuttosto che staccarsi, fenomeno più accentuato se non si ha perfetta perpendicolarità del sistema: il bordo del vetro trancia il gecko che vi si appoggia.



Figura 16 Condizioni sperimentali e campione di gecko prima e dopo l'applicazione del carico

## Materiale occorrente

- ✓ gecko tape ®
- ✓ 1 lastra in vetro
- ✓ Carta millimetrata e Nastro adesivo
- ✓ Barre sostegni e morse per fissare il sistema
- ✓ Morsetto di aggancio per il gecko ( va bene anche una pinza chiudisacchetti sacchetti vedi immagine sopra) è tuttavia importante cercare di equilibrare i pesi e non stringere troppo il gecko per non romperlo
- ✓ Pesetti da laboratorio e Bilancia
- ✓ Alcool etilico e scottex
- ✓ Livella



## Preparazione delle superfici

Pulire il vetro con etanolo o con alcool etilico, asciugarlo con carta tipo scottex; poi con il nastro adesivo incollare su un lato la carta millimetrata che servirà come riferimento per il posizionamento del Gecko: guardando le quadrettature ad ogni misura lo si riposizionerà nello stesso punto



## Procedimento

Fissare il gecko con una molletta ed collegare un gancio in modo che la trazione sia il più possibile centrata ( retta d'azione della forza passante per il baricentro del gecko)

Attaccare il gecko al vetro

Provare a staccarlo con un movimento di peeling ( ad es capovolgendo il vetro): si staccherà molto facilmente

Con sostegni e morsetti posizionare il vetro assicurandosi la perfetta perpendicolarità

Collegare nuovamente il gecko al vetro

Aggiungere pesetti fino al distacco ( o alla rottura)

Pesare con la bilancia la massa complessiva

## Suggerimenti

**L'importanza del baricentro e della perpendicolarità** Se il filo di trascinamento non è centrato la retta d'azione della forza applicata non passa per il baricentro e si genera una coppia di forze (quella di attrito e quella applicata) che fanno ruotare il gecko che premerà sul bordo del vetro tagliandosi molto più facilmente

**La perpendicolarità** assicura di rispettare la direzione di shear, se il vetro è inclinato verso l'operatore si ha il fenomeno di peeling e il gecko si stacca quasi subito

**Rottura:** se la perpendicolarità è rispettata il carico risulta elevato ed in genere supera il carico di rottura del materiale

**Collegare i campioni sempre vicino al bordo:** in particolare ridurre l'area usando campioni più piccoli non spostando in basso un campione grande e fare aderire al vetro sempre la maggior parte del campione evitando "penzolamenti" che aumentano l'effetto di deformazione e la scarsa trasmissione della forza al gecko collegato al vetro.

## I nostri risultati

La prova è essenzialmente qualitativa, si rileva che

- Risulta evidente la tenacia dell'adesione
- La deformazione marcata ( fig. 20) suggerisce che le forze agenti sul gecko in prossimità del bordo del vetro ne riducano lo spessore fino a portarlo alla rottura
- Nella prova con trascinamento orizzontale (attività 6) non c'è deformazione del gecko e le forze sono applicate su tutta la superficie, qui invece, molto probabilmente, le forze si trasmettono più sulla parte libera del materiale (deformandolo) che su quella attaccata al supporto in vetro e la loro distribuzione è tutt'altro che uniforme, ciò appare evidente osservando in trasparenza il gecko ed il vetro sottostante al variare del carico applicato



### Attività 6: Vetro su Gecko tape® orizzontale

Porremo il gecko tape® fra due vetri piani e paralleli: questa prova presenta diverse difficoltà tecniche, sia per la realizzazione di un buon sistema di trascinamento del vetro sia a causa del non



trascurabile attrito vetro su vetro. Offre l'opportunità di far scontrare gli studenti con problemi di ottimizzazione degli apparati sperimentali e nel contempo di analizzare e comprendere le problematiche che insorgono, proprio per questo, mentre nella presente guida docente verranno sviscerati tutte le criticità nell'analogia per gli studenti verrà appositamente lasciato loro un discreto margine di autonomia.

## Materiale occorrente

- ✓ gecko tape®
- ✓ 2 lastre in vetro di cui una più piccola
- ✓ Pennarello per segnare il centro sulle due lastre di vetro
- ✓ Carta millimetrata
- ✓ Blocchetto in legno collegato a gancio e corda per imprimere al vetro una forza parallela al piano<sup>3</sup>
- ✓ Blocchetto di metallo da usare come contrappeso (noi abbiamo effettuato le misure in due casi: parallelepipedo in rame, massa 943 g; parallelepipedo in alluminio massa 170g quest'ultimo però non garantisce stabilità per masse di acqua superiore ai 5 kg, vedere oltre i dettagli sul trascinarsi)
- ✓ 1 rocchetto
- ✓ Barre sostegni e morse per fissare il sistema
- ✓ Corde inestensibili (es cavo in plastica rigida da giardino o meglio bava da pesci)
- ✓ Forbici
- ✓ Contenitori per acqua (secchio da 10 l o fusto da 5 l per acqua distillata)
- ✓ Brocche di acqua
- ✓ Bilancia da cucina portata almeno 10 kg ( si può usare con portata minore usando superfici di Gecko più piccole)

## Preparazione delle superfici

Prendere i vetri e pulirli con etanolo o con alcool etilico poi asciugarli con carta tipo scottex; con un righello individuamo le diagonali e col pennarello indelebile tracciamo due croci in corrispondenza del baricentro: ciò consentirà di:

- posizionare sempre nello stesso punto della superficie il gecko e i due vetri
- fare in modo che la corda tesa passi per il baricentro del vetro superiore e non ci siano momenti che possano farlo ruotare rispetto a quello inferiore evitando così fenomeni di "spellamento" del gecko : l'obiettivo è misurare la forza di attrito statico, che, come è noto, agisce parallelamente alla superficie.
- Sul piano di appoggio, sotto ai due vetri, si può porre un foglio di



<sup>3</sup> Il trascinarsi del vetro è stato effettuato anche con altri metodi ma questo è risultato il



carta millimetrata posizionandolo in modo che il baricentro dei due vetri coincida con un punto di incrocio delle sue tracce, questo agevolerà il posizionamento del gecko ta® e che grazie al riferimento sottostante potrà essere posizionato all'incirca sempre nella stessa zona del vetro

## Realizzazione del trascinamento e criticità

1. **Il vetro inferiore** è stato bloccato fra due guide in legno, la forza è applicata aggiungendo acqua in un contenitore appeso ad un filo che trascina il vetro superiore.
2. **Il trascinamento** è assicurato da un pezzo di legno a cui è fissato un filo inestensibile e su cui poniamo un peso per renderlo stabile. Il legno viene posto dietro al vetro superiore ( v fig 9) e lo trascina, è evidente come nel sistema entri in gioco anche l'attrito del legno sul vetro sottostante che tuttavia è assai inferiore rispetto ai valori tipici dell'attrito vetro su gecko. Per ridurlo il più possibile si può scegliere un legno con un piano di appoggio molto levigato ed un contrappeso con una massa il più possibile ridotta, pur se in grado di dare stabilità. Gli errori si ripercuotono in maniera maggiore per basse superfici
3. **Il contrappeso**: sul legno viene posto un peso che garantisce la stabilità ma che non carica sul Gecko quindi non influenza l'intensità della forza d'attrito del gecko.
4. **Il filo** passa su una carrucola, realizzata con un semplice rocchetto in plastica del tipo di quelli per i nastri da pacco, per terminare con un uncino a cui si appende un contenitore in cui si verserà acqua. Aver cura che il filo :
  - Sia parallelo al piano di appoggio e di conseguenza anche alla superficie dei vetri
  - Non tocchi il vetro per non influenzare il carico su di esso applicato
5. **Evitare urti**. Quando il peso dell'acqua supera la forza di attrito ed il vetro superiore si muove: è bene **tenere le mani accanto al legno di trascinamento per bloccarlo**; in genere si vede il lento disallineamento delle due croci e si riesce a fermare agevolmente il sistema, in ogni caso **due feltrini** (del tipo di quelli che si attaccano sotto i piedi delle sedie) vengono posti su due barrette di legno fissate lungo il bordo del piano evitano urti violenti;

## Suggerimenti

**L'importanza del contrappeso** descritta al punto 3 può essere capita analizzando la figura 6: l'assenza del peso inclina il legno e non si ha più una forza parallela al piano bensì un fenomeno di "spellamento". Con il contrappeso quando la Forza applicata supera quella di attrito il vetro superiore inizia a muoversi parallelamente al piano, in sua assenza invece il legno di trascinamento non aderisce perfettamente al vetro sottostante, si inclina e con la trazione della corda si tende ad applicare una componente di taglio, perpendicola al vetro stesso. La componente di taglio determina uno "spellamento" del Gecko che falsa la misura ed il più delle volte determina uno "srotolamento" del gecko che, anziché staccarsi dal vetro superiore, si stacca da quello sottostante e si arrotola su sé stesso.

**L'importanza del baricentro** Un analogo problema di disallineamento del moto si presenta se il blocchetto in legno di trascinamento non è centrato ed il filo non passa in prossimità del baricentro: ciò genera una coppia coppia di forze (quella di attrito e quella applicata) che fanno ruotare il vetro



superiore e spesso spellare il gecko dal vetro sottostante.

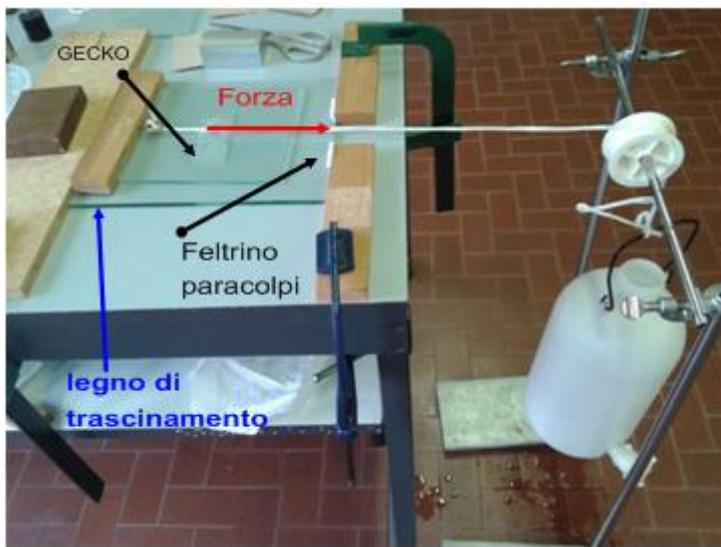


Figura 17 apparato sperimentale Gecko tape vista laterale. Quando la Forza applicata supera quella di attrito il vetro superiore inizia a muoversi. Si noti che senza il blocchetto metallico di contrappeso il legno di trascinamento non aderisce perfettamente al vetro sottostante, si inclina e tende ad applicare una componente di taglio, perpendicola al vetro stesso. La componente di taglio determina uno “spellamento” del Gecko che falsa la misura il gecko dal vetro sottostante.

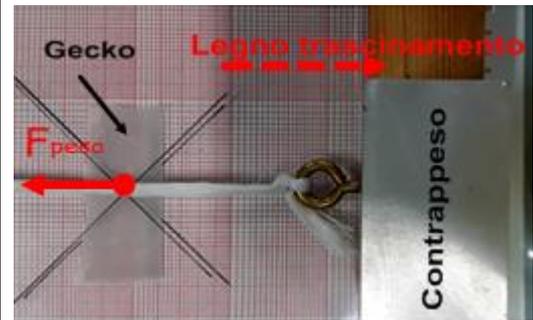


Figura 18 Particolare del gecko su vetro e del blocchetto in legno + pesetto di contrappeso.

Si noti l’allineamento dei due riferimenti a croce tracciati col pennarello in corrispondenza dei baricentri dei due vetri. Si noti inoltre come la presenza della carta millimetra agevoli il posizionamento del sistema.

**L’importanza di fare misure consecutive** \_ I valori registrati, sullo stesso pezzo ma in giorni diversi possano differire anche di molto, analoghe discrepanze si hanno nel caso di misure fatte prima e dopo il lavaggio del Gecko o della pulizia dei vetri. Tali dipendenza è legata allo stato delle superfici che ad es da un giorno all’altro si asciugano meglio. Per garantire una riproducibilità ed una reale coerenza dei dati si consiglia di organizzare le misure in modo da iniziare e finire un set completo nell’arco temporale di una mattina, una buona strategia di preparazione delle superfici è quella di pulirle il giorno precedente, lavare i pezzi di Gecko da riutilizzare (ovviamente non i pezzi nuovi) asciugarli e riporli far due fogli di carta assorbente, tipo scottex per poi utilizzarli il giorno dopo avendo cura di maneggiarli senza sporcarli, per manneggiarli si possono anche usare semplici guanti di plastica da supermercato.

### Scelta dei campioni e del numero di misure

Le misure sono state fatte per i pezzi a diversa superficie e con forma quadrata e rettangolare; per i due pezzi rettangolari si sono acquisiti i dati sia ponendo il lato lungo parallelamente alla forza (v. figura 7) sia con i gecko ruotato di 90 gradi (v fig 6), ponendo quindi il lato corto parallelo alla forza: nei due casi non si sono rilevate differenze apprezzabili; così non è nel caso in cui non venga correttamente eliminato l’effetto della componente di taglio di taglio della forza di trascinamento ( assenza del contrappeso).



Per ogni pezzo si fanno alcune misure in modo da avere un minimo di statistica, rispettando anche i vincoli di tempo per riuscire a concludere tutto il set di misure in un'unica prova.

Dopo aver eseguito le misure su 4 pezzi a superficie crescente (da 1 a 4) Abbiamo tagliato il pezzo più grande (n. 4) in 5 porzioni ed abbiamo eseguito altre misure. Le ragioni di un tale procedimento risiedono nella volontà di utilizzare materiale che ha subito le medesime sollecitazioni

## I nostri risultati

Dopo aver eseguito le misure su 4 pezzi a superficie crescente (da 1 a 4) ci siamo resi conto sia della dipendenza della forza di attrito dalla superficie sia della criticità del posizionamento del gecko tape: alcune misure sono riproducibili con scarti inferiori al 10 % ma **variando anche di poco la posizione del Gecko sul vetro o l'allineamento del sistema i valori cambiano anche drasticamente**. Si registra poi una sorta di **effetto memoria** dovuto alla plasticità del materiale per cui, una volta posizionato sul vetro sottostante, col procedere delle misure il gecko vi si "adatta" ed aderisce sempre meglio tanto che i valori della forza di attrito registrata hanno in genere un andamento lievemente crescente. Abbiamo tagliato il pezzo più grande (n. 4) in 5 porzioni ed abbiamo eseguito altre misure. Le ragioni di un tale procedimento risiedono nella volontà di utilizzare materiale che ha subito le medesime sollecitazioni .

Si sottolinea una notevole influenza del valore assoluto del peso minimo necessario per mettere in movimento il sistema in funzione delle condizioni di pulizia delle superfici.

Si invita poi a riflettere sulla geometria del sistema a contatto e di come il processo dia luogo ad un errore accidentale difficilmente valutabile ossia l'effetto di adesione vetro su vetro particolarmente riscontrabile nel caso di campioni piccoli.

Noi utilizziamo due lastre di vetro di dimensioni ovviamente maggiori rispetto alle aree dei campioni di Gecko; il gecko è realizzato con un materiale deformabile e di spessore assai ridotto, a causa di ciò, quando le superfici sono piccole, pur cercando di allineare e centrare il più possibile i baricentri del sistema, si riscontra una instabilità che di fatto si traduce in una maggiore dispersione dei valori misurati e in una riduzione del valore assoluto della forza di attrito valutata.

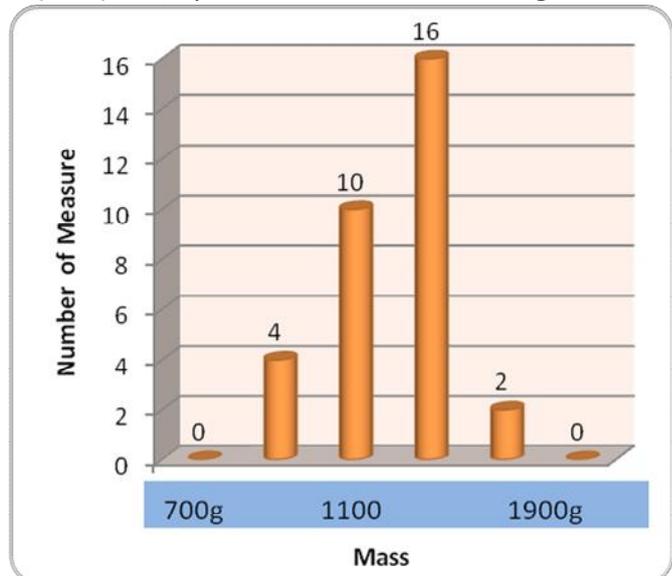


Figura 19 dispersione delle misure del campione di 25,6 cm<sup>2</sup> relativo al set di misure della fig. 21 b)-

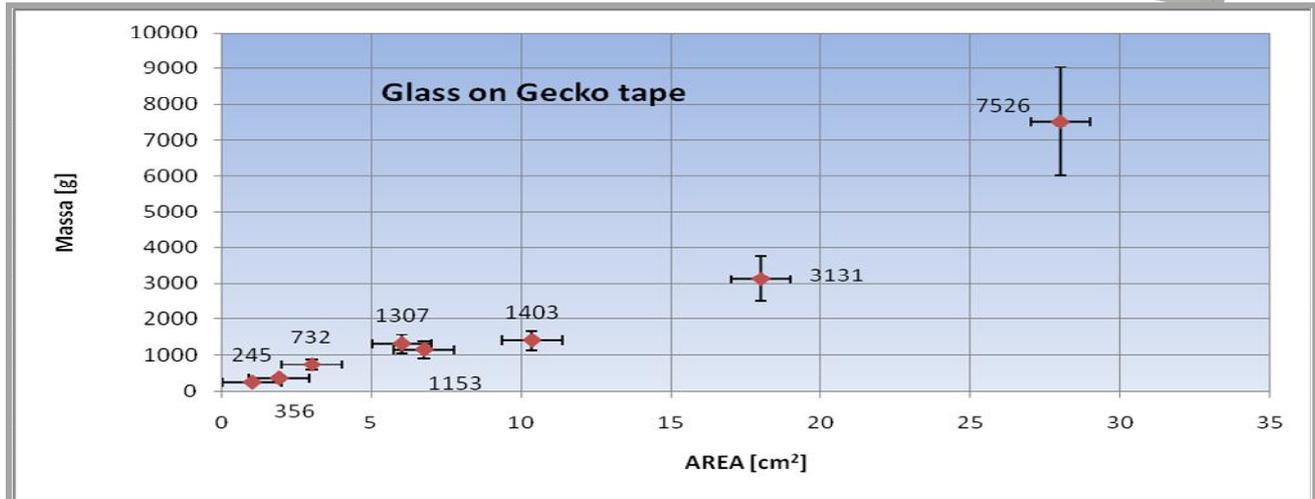


Figura 20 Dipendenza della forza di attrito dalla superficie

Quando la superficie del campione è sufficientemente grande da garantire una stabilità della geometria del nostro “sandwich” al dipendenza della forza d’attrito dall’area approssima bene un andamento lineare .

Abbiamo fatto diversi set di misure ed in ognuno risulta evidente la dipendenza della forza di attrito dalla superficie dei campioni. Uno dei risultati è riportato nel grafico in fig. 25; i dati sono stati riportati con l’ errore standard calcolato direttamente dal foglio elettronico utilizzando la dispersione dei dati. La scarsa accuratezza delle misure è legata principalmente all’apparato sperimentale che non consente di tenere sotto controllo tutti i parametri in gioco, primo fra tutti la mano dell’operatore che deve cessare di versare acqua al primo movimento della “slitta” Dal grafico risulta evidente la dipendenza della forza d’attrito dalla superficie, in contrasto con quanto previsto classicamente e a supporto della teoria esposta.

Un’analisi dell’andamento mostra una differente pendenza della retta di interpolazione: il grafico sembra essere una spezzata con un segmento a minor pendenza fino a valori di superficie intorno a 10 cm<sup>2</sup> ed un segmento a maggior pendenza per aree superiori. Il fenomeno si osserva ad ogni set di misure e sarà ancor più marcato nelle misure di Al su Gecko tape® che vedremo nella prossima scheda.

Effettuando diversi set di misure si constata che il valore assoluto della forza misurata cambia come si può notare dal confronto dei grafici di fig 26 a e b. Nel grafico di fig. 26b sui punti sono riportate le coordinate: l’area dei campioni è stata determinata con metodo additivo ponendo il gecko su un foglio di carta millimetrata.

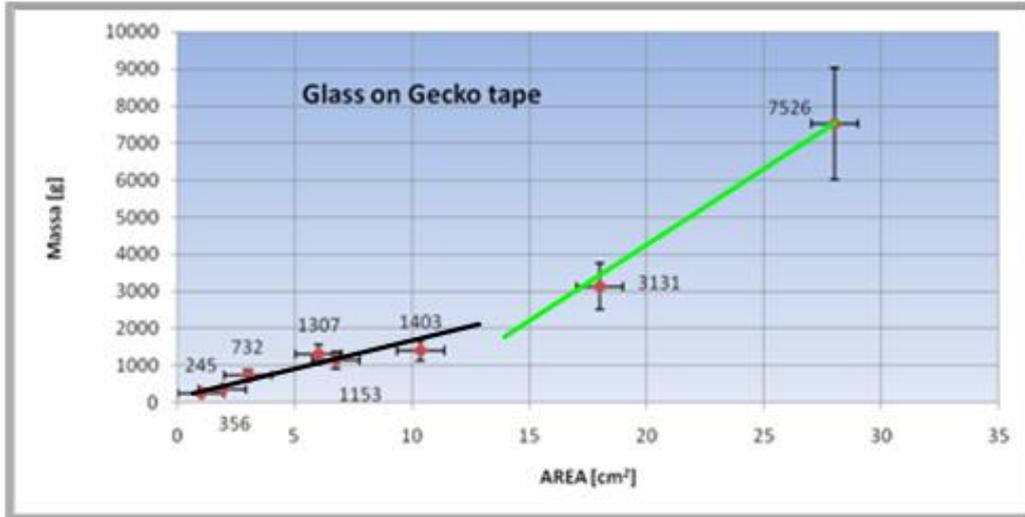
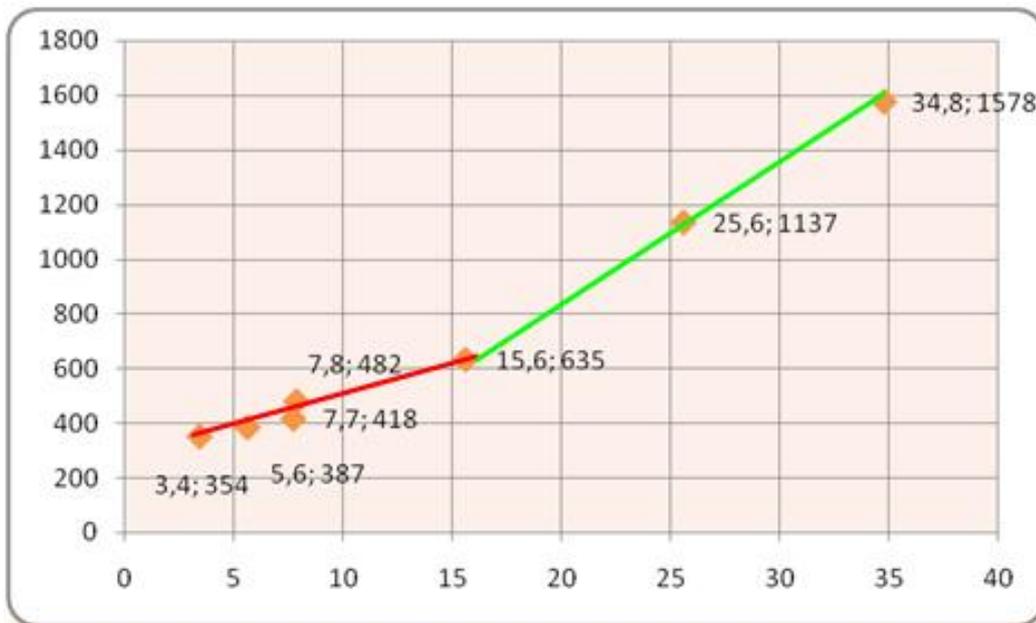


Figura 21 a (sopra) e b (sotto)- Vetro su Gecko tape: massa necessaria per mettere in moto il sistema in funzione della superficie; confronto fra due set di misure. Contrappeso in rame, massa 943g



## Ipotesi sui meccanismi fisici sottesi

Consideriamo i campioni con superfici minori; in essi

- l'incidenza dell'errore accidentale legato all'operatore che versa acqua e deve fermarsi al primo movimento è maggiore e si ha maggiore dispersione delle misure
- l'effetto dovuto all'attrito del legno sul vetro incide maggiormente, se tale componente non fosse trascurabile la pendenza per pezzi a minor superficie dovrebbe essere maggiore poiché così non è possiamo senz'altro dire che questo errore accidentale risulta ininfluenza e la forza d'attrito del legno sul vetro è trascurabile rispetto a quella del gecko su vetro
- l'adesione del gecko è meno stabile, sia sul supporto sottostante ( per noi vetro) sia sul vetro in movimento (slitta) Il gecko quindi,posto tra la base e la slitta, costituisce uno strato



deformabile, in silicone, con spessore inferiore al mm. Abbiamo una sorta di panino farcito con un oggetto sottile e deformabile; se le superfici sono piccole muovendo lo strato superiore creiamo disequilibrio e basculamenti che possono portare a fenomeni di distacco per peeling. Aumentando l'area e la stabilità del piano di appoggio questi effetti si riducono fino a scomparire per aree intorno ai 10 cm<sup>2</sup>. Una seconda conseguenza dei basculamenti descritti è il possibile contatto vetro vetro e la conseguente Forza d'attrito, inferiore a quella vetro gecko, nella prova con Al si registra il medesimo comportamento ma più marcato, con una prima pendenza iniziale minore, in accordo con la minore forza d'attrito tra alluminio e vetro

## Riproducibilità

Un altro fenomeno osservato nei set di misure su vetro è la tendenza all'aumento nel tempo della forza d'attrito; il fenomeno è visibile nel grafico a fianco dove sono riportate 16 misure effettuate sul campione di gecko di area circa 21 cm<sup>2</sup> (4,6x4,6 cm). Andamenti analoghi si riscontrano sugli altri. Possiamo notare diversi aspetti

- Punti da 1 a 4: la prima misura è la più bassa in assoluto, nelle successive, dove il gecko si è sempre staccato dal vetro superiore, si nota un lieve aumento della forza (massa) che ipotizziamo legata alle caratteristiche plastiche del gecko: col procedere della misura le microstrutture si appiattiscono sempre più sul vetro d'appoggio ed aumentano i punti di reale contatto. In generale si osserva che più tempo il gecko rimane attaccato alla superficie maggiore è la forza d'attrito che si registra.
- Punti 5, 9, 14: si sono verificati "spellamaneti" del gecko che anziché staccarsi per "shear" dal vetro superiore ha subito un peeling su una delle due superfici, a volte su quella inferiore, altre da quella superiore o da entrambe. Lo shear avviene a forze inferiori, arrotola il gecko e costringe al suo riposizionamento. Si segnala come i fenomeni di peeling si verificano in particolare se si versa rapidamente l'acqua,
- Punti 6-10-15: misure effettuate dopo il riposizionamento del gecko in seguito di peeling, sono inoltre distacchi avvenuti per shear: si ha l'atteso aumento della  $F_a$  e la contestuale crescita mano a mano che si procede con le misure successive.
- Punto 14: il gecko si è distaccato per peeling arrotolandosi completamente, nella successiva misura 15, dopo il riposizionamento, la forza è nuovamente cresciuta seppur le prestazioni adesive complessive apparissero un po' degradate. Si è ipotizzato che i successivi distacchi e riposizionamenti lo avessero sporcato, lo si è staccato, lavato, pulito le superficie e lasciato asciugare e fatto aderire fino al giorno successivo. La misura 16 si riferisce alla "nuova"

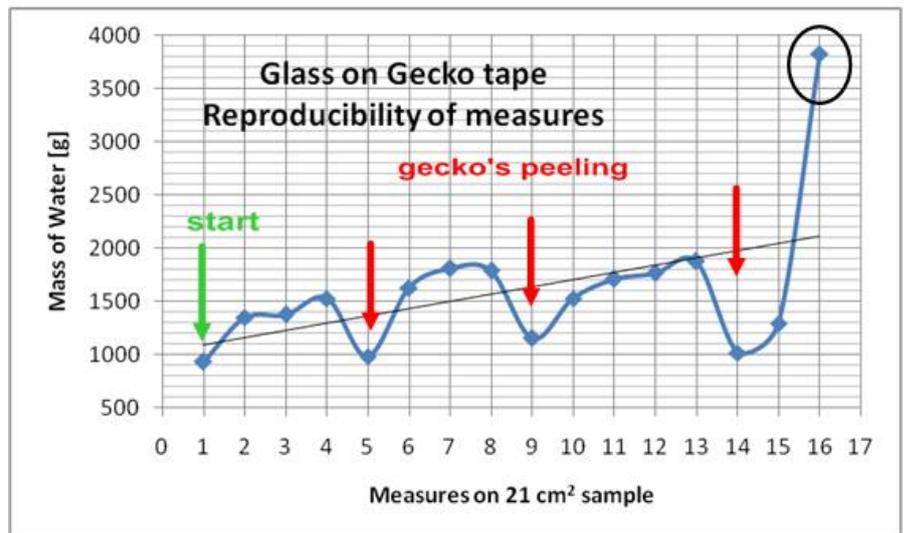


Figura 22 effetti dei fenomeni di peeling



misura, del giorno successivo dopo una notte di adesione<sup>4</sup>. Questo valore, tanto maggiore rispetto a quelli registrati il giorno precedente non deve sorprendere: Il nostro lavoro si riferisce a circa un mese di misure, i grafici riportati sono quelli in cui si è ottenuto il miglior controllo dei parametri ed hanno lo scopo di mettere in luce i diversi fenomeni con cui i ragazzi si confronteranno. Si noti in specifico l'ampia escursione di valori di  $F_a$  tra diversi set di misure ( grafici 26) ad indicare come lo stato delle superfici giochi il ruolo determinante: la pulizia, quanto asciutto era il gecko, il tempo di contatto prima della misura, la posizione sulla superficie, il "modo" di attaccarlo alle superfici: facendo o meno pressione e quanta, l'uso di un pezzo di gecko nuovo piuttosto che usato, e usato quanto e soprattutto come: gli spella menti tra vetro in parte danneggiano le microstrutture e con il microscopio abbiamo potuto constatare il degrado temporale del materiale. A ciò si somma la difficoltà del controllo di tutti i parametri di misura quali allineamenti, baricentri, attriti interferenti, la mano dell'operatore, ...

- Se mentre si versa acqua si osserva il gecko, visibile attraverso il vetro superiore, si possono notare le zone di distacco che si fanno via via sempre più ampie: se l'acqua viene versata lentamente ed i baricentri sono allineati in genere tali zone si distribuiscono in modo uniforme sull'intera superficie del campione. In caso di disallineamenti e/o di trazioni brusche (come accade versando grandi quantità di acqua) si notano zone " preferenziali", in genere sui bordi, da cui poi parte lo "spellamento".

## Conclusioni

Quando l'area del campione di Gecko è superiore a  $10 \text{ cm}^2$  l'adesione fra la parte mobile (slitta) ed il campione sottostante diviene più stabile ed i fenomeni di peeling e di adesione tra vetro sottostante e slitta sono trascurabili, in questo caso la dipendenza della forza d'attrito dalla superficie approssima bene l'andamento rettilineo. Per campioni piccoli la maggiore instabilità e gli effetti di scivolamento sul materiale sottostante influenzano la risposta riducendo l'intensità della forza minima necessaria per mettere in movimento il sistema. La criticità delle condizioni delle superfici è insita nel meccanismo di adesione ed i tanti parametri che su di esse influiscono rendono le misure riproducibili solo "in giornata" a meno di controllare con assoluta cura tutti gli aspetti di pulizia, allineamento, qualità del materiale e posizionamento. La prova offre la possibilità didattica di mostrare in situazione complessa ma concettualmente accessibile., con molti parametri da monitorare ciascuno dei quali alla portata degli studenti ed è in sostanza un ottimo banco di prova per sperimentare il processo della ricerca scientifica sperimentale.



## Consigli per i docenti :

### *Inserimento dello studio gecko su vetro nel percorso complessivo*

Si sottolinea come i nostri grafici siano il risultato di oltre un mese di misure e come siano stati presentati i dati più significativi e leggibili con lo scopo di indagare a fondo le problematiche che possono emergere. Si sconsiglia di porre alla classe l'obiettivo di "trovare quello specifico comportamento", proprio a causa dell'enorme variabilità dei valore assoluto delle misure, ma

---

<sup>4</sup>.confrontare anche i valori dei grafici di fig. 26



piuttosto di indagare il sistema. La prova ha in specifico l'obiettivo didattico di approcciarsi con la complessità e decodificarla, il controllo completo dei parametri richiede tempi poco compatibili con gli impegni scolastici ma offre uno stimolo per chi voglia impegnarsi in una didattica inquiry based learning eventualmente in un'ottica di classe capovolta .

### Riassumiamo brevemente le criticità

- Ampia escursione di valori di  $F_a$  tra diversi set di misure
- Stato delle superfici: pulizia, il tempo di contatto prima della misura, la posizione reciproca, modalità di adesione (con o senza pressione, entità della pressione <sup>5</sup>)
- Degrado temporale del materiale
- Forze interferenti: allineamenti, planarità baricentri, attriti interferenti, mano dell'operatore.

Un possibile percorso didattico potrebbe essere

- Introduzione teorica del docente: filmati, materiali nano strutturati, applicazioni....
- Suddivisione della classe in gruppi eterogenei (3 massimo 4 persone per gruppo)
- Presentazione del gecko tape® e prove qualitative (attività 1 e 2)
- Attrito classico, teoria ed Attività legno su carta vetrata ( semplice, veloce, ottima riproducibilità)
- Discussione in aula per spiegare l'attività 6 fornendo l'elenco dei materiali necessari e il layout dopo di che insieme con discussione interattiva condurre la classe a trovare le criticità (dei punti a-d precedenti) senza che sia il docente a dirle. Fornire indicazioni su numero di misure da effettuare, aree dei campioni, grafici da costruire, tipo di report (power point, prezi,...)
- Assegnare l'attività e prevedere un momento di report comune condiviso ove confrontare e discutere i risultati con tutta la classe.

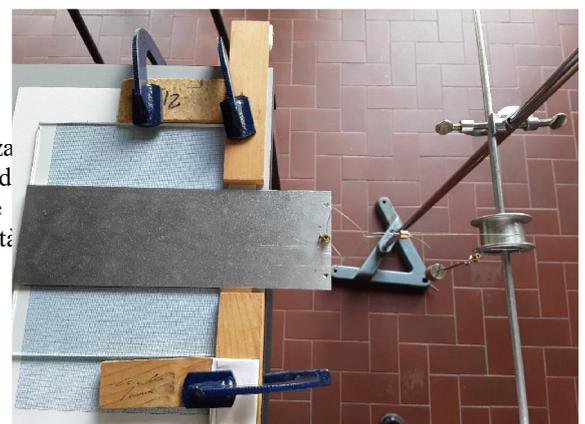
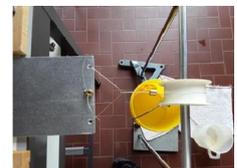


### Attività 7: Alluminio su Gecko tape® orizzontale

Materiale occorrente

---

<sup>5</sup> In letteratura molte misure sono riferiti all'adesione per contatto senza materiale sulla superficie", la si può ottenere appoggiando un lato del rimanente senza comprimerlo. Il posizionamento del vetro superiore condizione cercata ed abbiamo osservato come usando questa modalità ultima istanza si abbia un numero maggiore di fenomeni di peeling





- ✓ gecko tape®
- ✓ 1 lastra piana in vetro 25x25x3 mm
- ✓ 1 piastra di Alluminio perfettamente planare dimensioni 300x98x2 mm; massa 246 g con tre fori di cui uno centrale ed due laterali perfettamente simmetrici
- ✓ Pennarello per segnare riferimenti sulla lastra di vetro
- ✓ 1 foglio di carta millimetrata o in alternativa un foglio a quadretti piccoli
- ✓ 1 rocchetto
- ✓ Barre sostegni e morse per fissare il sistema
- ✓ Corde inestensibili (es bava da pesci)
- ✓ Forbici
- ✓ Contenitori per acqua (secchio da 5 l)
- ✓ Brocche di acqua
- ✓ Bilancia da cucina portata almeno 2kg

Figura 23 sopra Layout complessivo; sotto aggancio del filo inestensibile alla slitta in alluminio

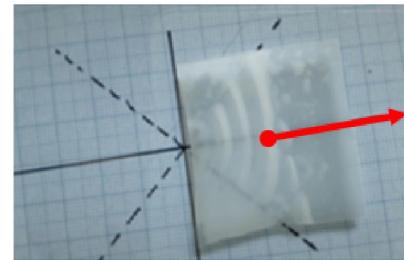
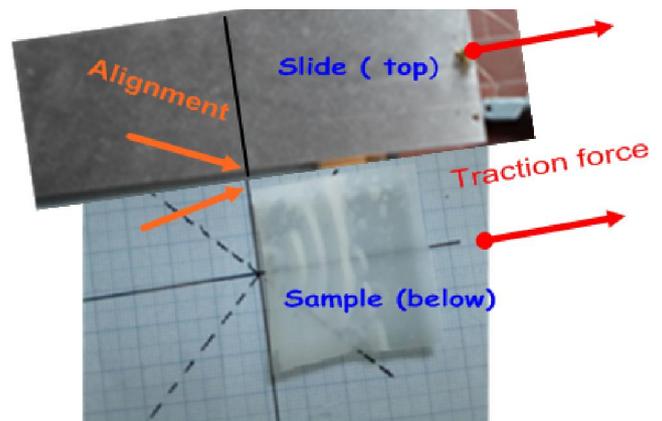


Figura 24 Riferimenti ed allineamenti-sopra carta millimetrata vetro e campione; sotto: allineamento della slitta in alluminio



## Procedimento

Pulire le superfici del vetro e dell'alluminio con etanolo o con alcool etilico; asciugarli con carta tipo scottex. Con il pennarello tracciare riferimenti sulla lastra in vetro ed individuare il baricentro. Posizionare il foglio di carta millimetrata vicino al bordo di un banco o di una superficie di appoggio piana; la forza motrice dovrà essere allineata alla griglia della carta. Sopra la carta allineare la lastra in vetro tenendo conto che i riferimenti serviranno per posizionare sempre nello stesso punto i campioni.

Col pennarello tracciare un segno sulla slitta in alluminio come riferimento per posizionare anche questa sempre nella stessa posizione, rispetto al vetro ed al campione. Collegare alla slitta il cavo inestensibile come mostrato in figura; fare in modo che la corda tesa passi per il baricentro del vetro e dell'alluminio e non ci siano momenti che possano far ruotare la slitta

1. Il vetro inferiore è stato bloccato fra quattro guide in legno
2. Il trascinamento è assicurato dalla slitta in alluminio fissata ad un filo inestensibile e sulla quale, in corrispondenza del Gecko, possiamo aggiungere un peso per migliorare la stabilità.
3. Il filo passa su una carrucola, realizzata con un semplice rocchetto in plastica del tipo di quelli per i nastri da pacco, per terminare con un uncino a cui si appende un contenitore in cui verserà acqua. Avere cura che il filo :
  - i. Sia parallelo al piano di appoggio e di conseguenza anche alla superficie della slitta in alluminio



- ii. Non tocchi il vetro per non influenzare la forza d'attrito

## Suggerimenti

4. **Il peso aggiuntivo:** se si lavora bene sugli allineamenti è possibile omettere il contrappeso e sfruttare solo la massa della slitta in Al ( per noi 246g) riducendo la complessità dell'apparato, le masse di acqua in gioco ed i tempi di misura.

Se sulla slitta viene posto un peso si aumenta la stabilità ma interviene sull'intensità della forza d'attrito e la massa di acqua necessaria: si consiglia masse superiori ai 5 Kg per non allungare i tempi di misura. È importante porre il contrappeso sempre nello stesso punto, rispetto al gecko sottostante, sfruttando i riferimenti tracciati sull'alluminio.

5. **L'importanza del baricentro** Se il filo di trascinamento non è centrato la retta d'azione della forza applicata non passa per il baricentro e si genera una coppia di forze (quella di attrito e quella applicata) che fanno ruotare la piastra di Al e falsa la misura
6. **Evitare urti.:** nel momento in cui la forza peso della massa di acqua supera quella di attrito statico e la slitta in alluminio si mette in moto è importante **tenere le mani accanto all'alluminio per bloccarlo**. La massima stabilità si ottiene con campioni quadrati.
7. **L'importanza di fare misure consecutive** I valori registrati, sullo stesso pezzo ma in giorni diversi possano differire anche di molto, analoghe discrepanze si hanno nel caso di misure fatte prima e dopo il lavaggio del Gecko o della pulizia dei vetri. Tali dipendenza è legata allo stato delle superfici che ad es da un giorno all'altro si asciugano meglio. Per garantire una riproducibilità ed una reale coerenza dei dati si consiglia di organizzare le misure in modo da iniziare e finire un set completo nell'arco temporale di una mattina, una buona strategia di preparazione delle superfici è quella di pulirle il giorno precedente, lavare i pezzi di Gecko da riutilizzare (ovviamente non i pezzi nuovi) asciugarli e riporli far due fogli di carta assorbente, tipo scottex per poi utilizzarli il giorno dopo avendo cura di maneggiarli senza sporcarli, per manneggiarli si possono anche usare semplici guanti di plastica da supermercato.



## I nostri risultati

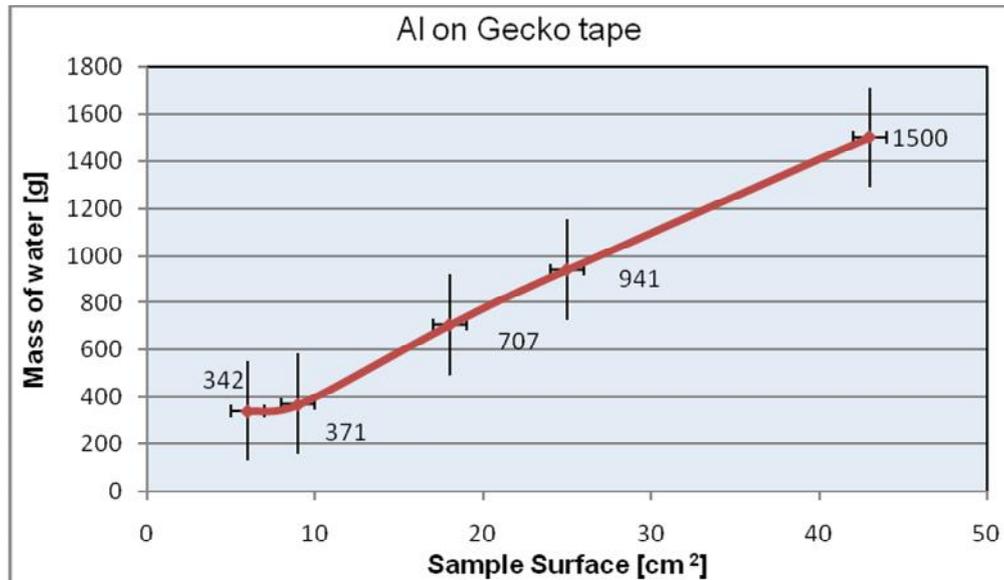


Figura 25 Alluminio su gecko tape: dipendenza dell'attrito dalla superficie

E' evidente la dipendenza della forza d'attrito dalla superficie ed anche la miglior risposta rispetto al contatto vetro gecko.

Un'analisi dell'andamento mostra una differente pendenza della retta di interpolazione: il grafico sembra essere una spezzata con un segmento a minor pendenza fino a valori di superficie intorno a 10 cm<sup>2</sup> ed un segmento a maggior pendenza per aree superiori. Si osserva un cambio di pendenza più brusco rispetto all'analogo andamento registrato tra Vetro e Gecko tape® riconducibile alla corrispondente marcata differenza fra l'attrito vetro-vetro e l'attrito Al-vetro, decisamente inferiore.

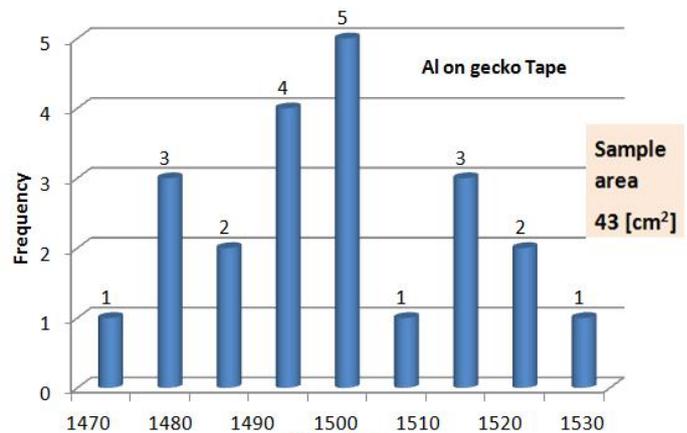


Figura 26 Dispersione delle misure

La riproducibilità è molto buona come si può vedere dall'istogramma che mostra la dispersione dei valori misurati per il campione di maggiore superficie; in generale la riproducibilità peggiora mano a mano che l'area cala.



## Attività 8-9 e10: Prove col piano inclinato

### Materiale occorrente

- ✓ gecko tape®
- ✓ carta vetrata
- ✓ nastro biadesivo
- ✓ pesetti meglio se di massa inferiore ai 200g di forma regolare, con superficie piana e liscia in alluminio, legno, MDF (Medium-density fibreboard (sigla **MDF**, traducibile come "pannello di fibra a media densità", è un derivato del [legno](#). È molto utilizzato per mobili moderni). piano inclinato da laboratorio
- ✓ Goniometro (se non è già parte del piano)
- ✓ calcolatrice



### Procedimento

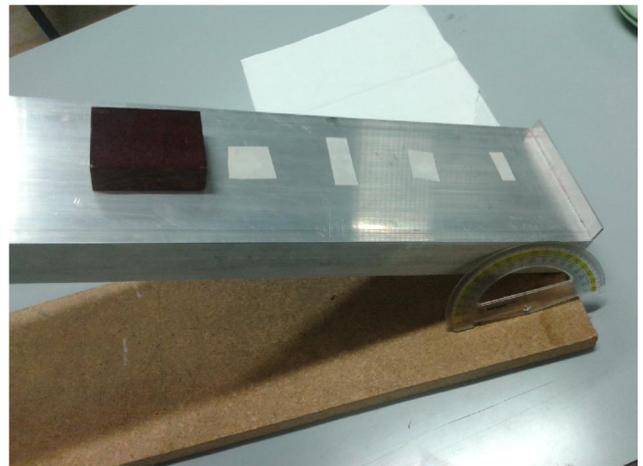
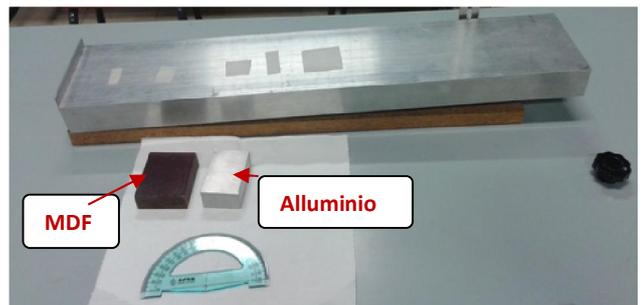
Si tratta di una prova classica sull'attrito: il campione viene fissato al piano inclinato e su di esso si pone il pesetto, si inclina poi il piano fino al punto di distacco e si misura il corrispondente angolo. E' stata pensata come misura qualitativa quindi piuttosto imprecisa presenta tuttavia il vantaggio di essere molto veloce ed offrire la possibilità di testare con lo stesso apparato sperimentale diversi aspetti

- La dipendenza/indipendenza della forza d'attrito dall'area della superficie
- La dipendenza della forza d'attrito dal materiale e dalla forza normale agente sul piano
- Focalizzata sulle forze e l'equilibrio è particolarmente consigliata per il biennio

Per la semplicità della prova uniamo le diverse prove e ci focalizziamo sul confronto dei risultati e sui "Suggerimenti" utili per una migliore riproducibilità sperimentale.

### Suggerimenti

1. Il pesetto scelto deve avere un'altezza il più possibile ridotta per ridurre gli effetti di peeling
2. campioni di Gecko-Tape devono avere aree interamente ricopribili dalla base del pesetto e ciò limita fortemente il numero di punti (superfici) significativi poiché quando l'area del



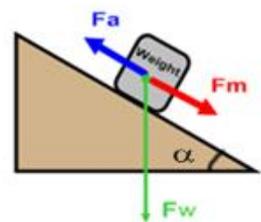


campione è bassa rispetto alla base del pesetto si possono avere fenomeni di attrito tra piano inclinato e pesetto, per evitarlo occorrono campioni perfettamente piani e di materiale rigido, meglio se leggero.

3. sono da preferire campioni quadrati o rettangolari con il lato lungo perpendicolare alla forza motrice
4. Per le nostre misure Abbiamo scelto il pesetto in Al per avere un minimo di confronto con le misure fatte nel layout orizzontale e uno in MDF che sopperisce meglio alla criticità n.3
5. mediamente le misure sono soggette a notevoli errori accidentali tra cui si citano:
  - punto di arresto del sollevamento da parte dell'operatore e lettura dell'angolo
  - posizione del pesetto sul campione (si consiglia di fissare dei riferimenti con un pennarello per renderla più riproducibile)
  - fenomeni di peeling del Gecko dal pesetto
  - distacco del campione di Gecko dal piano inclinato necessità di riposizionarlo

## I nostri risultati

Dopo aver misurato gli angoli  $\alpha$  del piano inclinato a cui si ha il distacco del peso nota la forza peso  $F_w$  si ricava la forza  $F_m$ , in modulo uguale ed opposta alla forza d'attrito  $F_a$  che abbiamo riportato sull'ascissa del grafico che segue. L'andamento sembrerebbe confermare quanto visto fin qui in realtà il calcolo della forza d'attrito apparentemente riduce i notevoli errori di questo tipo di misura che risulta estremamente imprecisa.



Si consiglia di effettuare misure con MDF il materiale con cui sono costruiti molti mobili e che è facilmente reperibile in un negozio di Hobbistica o usando un blocchetto ricavato da un banco:

Blocchetto di MDF, 6,3x5x2 cm m 17assa 92 g superficie liscia ha il vantaggio di essere più leggero dell'Alluminio inoltre la superficie è molto levigata,

in questo caso si ha un'incidenza minore degli effetti di peeling inoltre avendo una base di appoggio maggiore è più facile per l'operatore rendersi conto del loro verificarsi. In generale il distacco avviene combinando i due effetti, all'aumentare dell'area del gecko si osserva che:

fino ad angoli intorno ai 70 gradi il pesetto rimane immobile, oltre si registrano due diverse situazioni:

- un lento scivolamento parallelo al piano (shear) ed un successivo distacco per peeling
- fenomeni di peeling immediato descrivibile come "ribaltamento" del pesetto.

Si ripetono poi le prove per la carta vetrata utilizzando il medesimo blocchetto di MDF:

'attrito su carta vetrata non dipende dall'area, rispetto a quello sul Gecko Tape®, più precisamente la dipendenza della forza d'attrito dalla superficie di contatto è nulla nell'ambito degli errori sperimentali (in entrambi i casi  $\pm 2^\circ$ )

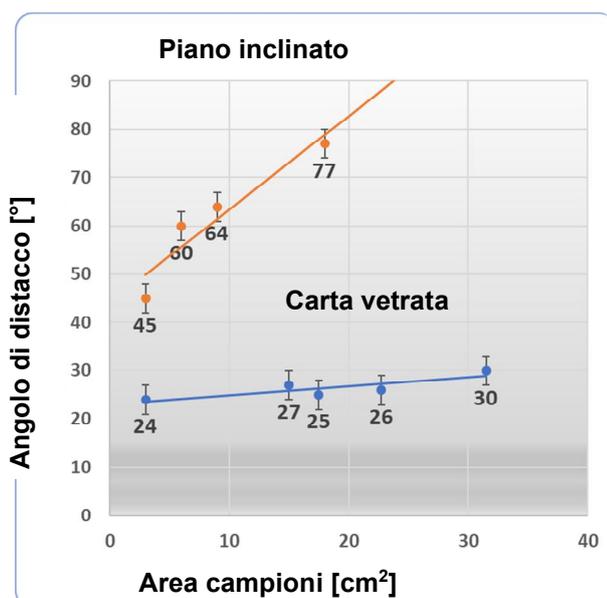


Figura 27 angolo di distacco medio al variare dell'area di contatto per campioni di carta vetrata e di Gecko Tape.



## Indicazioni pratiche:

- pulire il piano inclinato e posizionare su di esso il campione di gecko, eventualmente tracciare sul bordo del piano inclinato due segni col pennarello in corrispondenza del suo ingombro per averli come riferimenti
- appoggiare il pesetto sul campione di il più possibile centrato rispetto alla base del peso e sempre nella stessa posizione ad ogni misura (aiutarsi con i segni di ingombro)
- posizionare il goniometro ed effettuare la misura dell'eventuale angolo iniziale
- sollevare **lentamente** il piano inclinato fino al punto di distacco del pesetto e registrare l'angolo corrispondente;  
ATTENZIONE:

Durante il sollevamento guardare il pesetto cercando di riconoscere se il distacco avvenga per peeling (inizio del sollevamento da un lato) per shear (scivolamento parallelo al piano inclinato) o con una combinazione dei due effetti, si dovrebbe notare come i fenomeni di peeling, per lo più riducono l'angolo di distacco, rispetto alla media, mentre i fenomeni puramente shear, poco frequenti soprattutto a superfici basse, lo aumentano notevolmente.

**PARTE TERZA – STUDIO OTTICO**

Attività (tempi)	Tipo di prova	Scopo	Caratteristiche e limiti
11 (2h)	Diffrazione su Gecko tape® 	Verifica della microstrutturazione	Apparato sperimentale (laser, ottica..)
(15 minuti)	Studio al microscopio ottico 	Verifica della microstrutturazione	Apparato sperimentale (microscopio)

**Studio ottico Attività 11**

L'attività vera e propria consiste nell'utilizzare il gecko come reticolo di diffrazione e proiettare, ad esempio su una parete dell'aula, la figura che si ottiene. L'attività può essere approfondita e resa quantitativa ma presuppone un grado di specializzazione, e di conoscenza di fisica dello stato solido, forse poco ipotizzabile in un percorso di studi secondari.

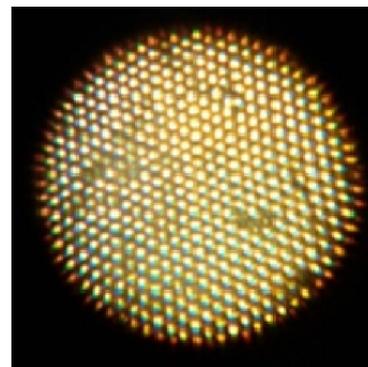
La visione la microscopio ottico è da considerare il punto di arrivo, dove si "vedono" le microstrutture del materiale o si possono confrontare pezzi a diversa usura o deformati.

Per i dettagli specifici si rimanda alla sezione "un'ottica differente" nella quale accanto ai dettagli delle prove si trovano suggerimenti ed approfondimenti didattici. Qui riportiamo solo alcuni cenni.

**Diffrazione:** possiamo appendere il gecko tape ® ad un sostegno orizzontale o, al limite, anche tenerlo con le dita, ponendoci di fronte ad uno schermo o al muro; a questo punto, sul lato opposto rispetto allo schermo dirigiamo il fascio di un semplice puntatore laser: sullo schermo si evidenzierà la figura di diffrazione tipica di una struttura esagonale. A lato l'immagine di diffrazione ottenuto con un puntatore laser rosso. Le misure quantitative sono riportate nella scheda "studio ottico"



**Microscopio:** con un microscopio ottico da laboratorio, ma anche con uno giocattolo che abbia ingrandimento almeno 30 x si può vedere la struttura regolare della microstrutturazione del gecko tape ®. A lato l'immagine ottenuta con un microscopio giocattolo con ingrandimento 70X. Il microscopio può anche essere costruito dagli studenti recuperando una lente di un lettore DVD e sfruttando la telecamera dello smartphone. I dettagli dell'attività sono riportati nella scheda "studio ottico"





## Conclusioni: Il segreto del gecko tape ® e la biomimetica



Dopo aver sperimentato il funzionamento del Gecko tape ® ed averlo visto al microscopio gli studenti possono concludere che

- funziona anche sotto vuoto, quindi non è realizzato con micro ventose
- presenta adesione selettiva a seconda della direzione di distacco: il peeling avviene con forze estremamente deboli, lo shear con forze molto alte; in ciò riproduce il comportamento del gecko, in grado di correre sui muri, quindi di regolare con estrema precisione l'adesione delle zampe nelle azioni di "attacca e stacca". L'elevata forza di shear d'altro canto riproduce la caratteristica unica del gecko in grado di rimanere aggrappato ad un soffitto reggendo un peso fino a 137 volte maggiore rispetto a quello del proprio corpo; come se un uomo di 70 Kg rimanesse appeso al soffitto reggendo 4 grossi suv.
- L'intensità della forza di attrito dipende fortemente dalla superficie di contatto contrariamente a quanto accade per l'attrito alla macroscale.
- Presenta una microstrutturazione (regolare) in grado di produrre diffrazione di un raggio laser



e visibile con un microscopio ottico.

Gli scienziati hanno studiato le zampe del gecko con il microscopio elettronico SEM di cui si riportano le immagini: è evidente la tripla struttura gerarchica: lamelle, sete, spatole delle zampe

<p><b>Zampa di Gecko Tokai con ben visibili le lamelle</b></p>	<p><b>Ogni Lamella è composta da ~100.000 Sete lunghe ≈150µm</b></p>	<p><b>Ogni seta termina con un centinaio di spatole lunghe circa 200 nm</b></p>	<p><b>Immagine SEM di Gecko tape ®</b></p>

del gecko. Un solo dito della zampa di un gecko contiene nelle lamelle centinaia di migliaia di sete (lunghe fino a 150 micron). Ciascuna seta a sua volta contiene una specie di "pennello", costituito



da centinaia di spatole, ciascuna larga circa 200 nm. Queste protuberanze sottilissime sono in grado di penetrare nelle asperità e nelle fessure permettendo al gecko di entrare in contatto intimo con la superficie su cui si arrampica: cioè la superficie **reale** di contatto è enorme.

Il gecko tape® che abbiamo utilizzato copia le zampe del gecko ed è un esempio di biomimetica cioè della scienza che si ispira alle soluzioni trovate in natura da piante ed animali per il migliorare e progettare nuove tecnologie-. Il primo esempio di biomimetica è forse costituito dal velcro, registrato negli anni 50 da un ingegnere che durante una passeggiata con il cane vide che al pelo dell'animale si erano attaccati i frutti di cardo alpino; mentre fino ad allora tutti difronte a quel fenomeno vedevano solo piccole e fastidiose palline lui, accortosi della difficoltà necessaria per staccarle, le guardò con occhio da scienziato: le trovò interessanti. Le analizzò al microscopio e scoprì che avevano dei piccolissimi uncini elastici che si impigliavano ai peli del cane, creando un intreccio difficilmente districabile. Da lì ebbe l'intuizione e, con l'aiuto di un fabbricante di Nylon, creò l'invenzione della sua vita: messo a punto nel 1941 e registrato per la prima volta nel 1951, si è diffuso tanto da finire su scarpe, abbigliamento, oggetti di uso comune e persino sulle divise militari e all'interno delle navicelle spaziali.

La capacità di guardarsi intorno con gli occhi dello scienziato in modo da vedere le soluzioni migliori che sono state elaborate dalla natura in tre miliardi di



Figura 28 Pianta del cardo montano, a confronto con il gli uncini del velcro che ha ispirato

anni di selezione naturale, su questo si basa la biomimetica un filmato molto interessante che può essere proposto agli studenti anche per la visione domestica e la successiva discussione in aula : I materiali biomimetici

Filmato Durata: 32,32 minuti  
o

### Superficie reale di contatto e interazioni atomiche



<http://www.raiscuola.rai.it/articoli/mex-i-materiali-biomimetici-la-natura-in-cattedra/31474/default.aspx>

A questo punto, per spiegare le differenze fra l'attrito alla macro e alla micro scala occorre introdurre il concetto di superficie reale di contatto e come anche due superfici che alla macroscale noi pensiamo a contatto di fatto si tocchino solo in pochi punti e per questo anche aumentandone l'estensione alla macroscale la differenza nei punti di contatto è irrilevante anzi, in alcune situazioni, se la superficie è più estesa l'irregolarità superficiale può addirittura ridurre la superficie reale di contatto. Esempi semplici ma efficaci possono essere fatti utilizzando modellini presi dalla vita di tutti i giorni o costruiti ad esempio con cartapesta, di seguito riportiamo le foto per suggerire alcune possibili idee.

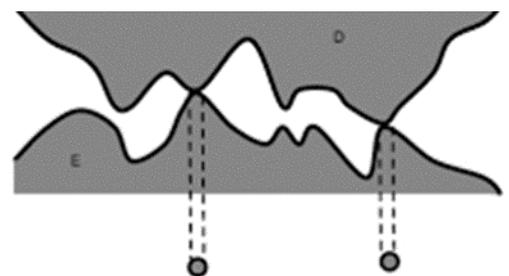
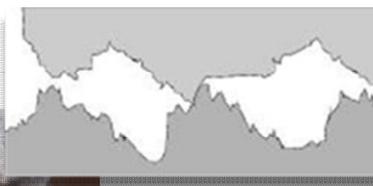
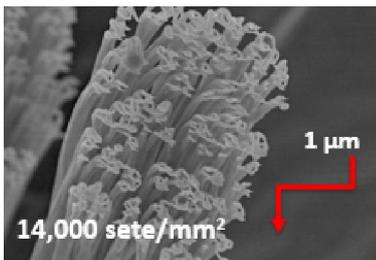




Figura 29 modello di cartapesta può essere costruito dagli studenti e permette di visualizzare le rugosità e comprendere il significato di superficie reale di contatto, nell'immagine a destra è riportata in sezione l'area di contatto: due piccoli cerchi, si può capire che aumentando le estensioni delle superfici macroscopiche l'area dei punti di contatto cambia pochissimo e di conseguenza anche la forza di attrito.

apparente, ciò determina la proporzionalità tra la forza d'attrito e la superficie di contatto, esattamente come accade per le setole del gecko.

Piegando ora il pennello, ossia variando l'inclinazione delle setole i ragazzi possono constatare come sia possibile regolare il numero di punti di contatto e, di conseguenza, la forza di adesione



Il pennello in combinazione con il modello di rugosità superficiale costituisce un'altra sollecitazione che si può dare ai ragazzi



Figura 30 pennello a contatto con le rugosità di superficie, osservazione di come cambia il numero di punti di contatto in funzione dell'inclinazione del pennello rispetto alla superficie e della pressione che si esercita nella direzione perpendicolare al piano.

Infine uno strumento molto interessante è il filmato della Berkeley university dove il movimento delle zampe del gecko è filmato in dettaglio durante l'arrampicata su uno specchio visibile dal minuto 3'54"

<https://www.youtube.com/watch?v=JnBkbaFsZOY>

Un'ultimo aspetto che può essere approfondito sono le interazioni atomiche e molecolari che stanno alla base dei fenomeni di attrito ed adesione. Questi possono essere studiati con l'ausilio di simulazioni come quelle proposte dalla Colorado University, la trattazione approfondita è nella scheda 2\_attrito nanoscala\_teorie simulazioni e Van der Waals. Si lasciano come riferimento:

- Friction <https://phet.colorado.edu/it/simulation/friction>
- Molecole- polarity <https://phet.colorado.edu/it/simulation/molecole-polarity>
- Atomic Interaction <https://phet.colorado.edu/it/simulation/atomic-interactions>